

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-031902

(43)Date of publication of application : 31.01.2003

(51)Int.Cl.

H01S 5/20

(21)Application number : 2001-215184

(71)Applicant : DENSO CORP

(22)Date of filing : 16.07.2001

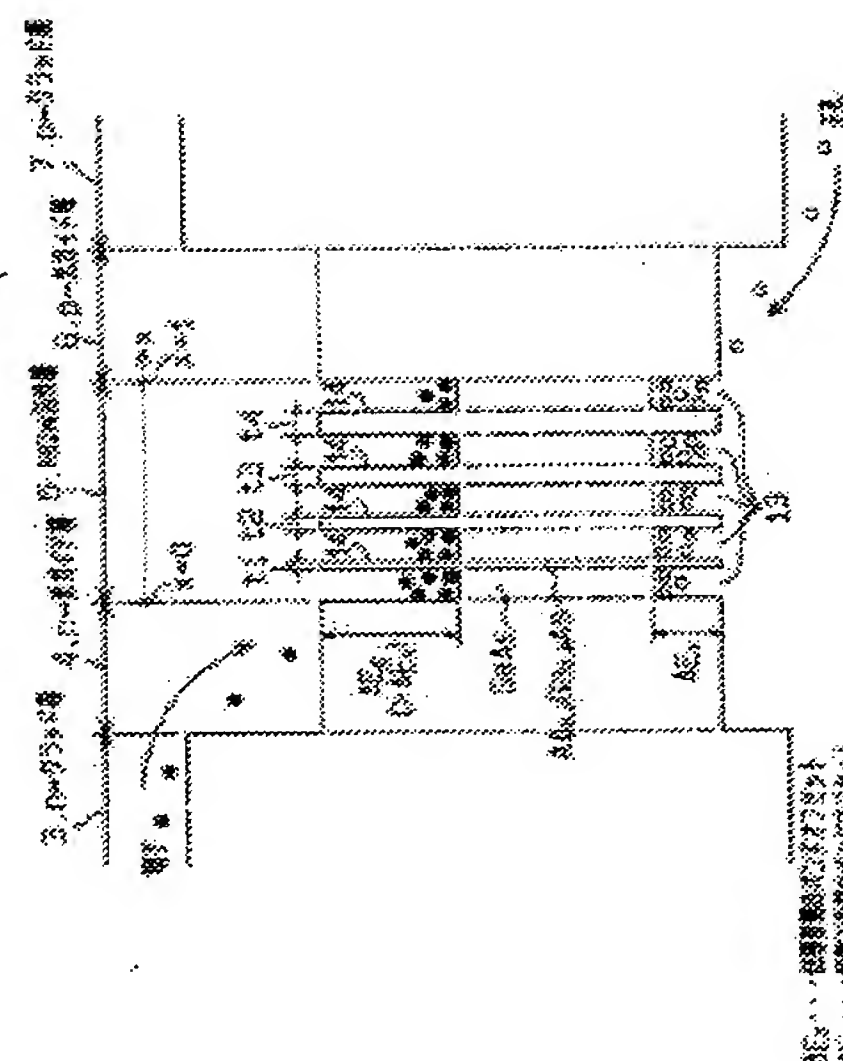
(72)Inventor : ABE KATSUNORI

## (54) SEMICONDUCTOR LASER

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser that can be lowered in threshold current and improved in efficiency, by improving the uniformity of carrier density distribution.

SOLUTION: This semiconductor laser has a GaAs substrate, an n-type clad layer 3, and a p-type clad layer 7. The laser also has a multiplex quantum well active layer 5 having two or more wells. The clad layers 3 and 5 and active layer 5 are constituted of AlGaAs-based materials and thicknesses  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ , and  $t_4$  of barrier layers 14 which constitute the active layer 5 become gradually thicker ( $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ ), going farther away from the clad layer 3.



## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]A n type clad layer (3), and a p type clad layer (7) and a multiplex quantum well active layer (5) whose number of wells is two or more are included, In a semiconductor laser which comprises a material system with larger band offset ( $\Delta E_c$ ) by the side of a conducting zone than band offset ( $\Delta E_v$ ) by the side of a valence band, A semiconductor laser being thick in order as thickness (t1, t2, t3, t4) of a barrier layer (14) which constitutes said multiplex quantum well active layer (5) separates from a n type clad layer (3).

[Claim 2]A n type clad layer (33), and a p type clad layer (37) and a multiplex quantum well active layer (35) whose number of wells is two or more are included, In a semiconductor laser which comprises a material system with larger band offset ( $\Delta E_v$ ) by the side of a valence band than band offset ( $\Delta E_c$ ) by the side of a conducting zone, A semiconductor laser being thick in order as thickness (t21, t22, t23, t24) of a barrier layer (40) which constitutes said multiplex quantum well active layer (35) separates from a p type clad layer (37).

[Claim 3]In a semiconductor laser characterized by comprising the following, said n type clad layer (3), said p type clad layer (7), and said multiplex quantum well active layer (5) comprise AlGaAs system material, A semiconductor laser being thick in order as thickness (t1, t2, t3, t4) of a barrier layer (14) which constitutes said multiplex quantum well active layer (5) separates from a n type clad layer (3).

A GaAs substrate (1).

A n type clad layer (3).

A p type clad layer (7).

A multiplex quantum well active layer (5) whose number of wells is two or more.

[Claim 4]In a semiconductor laser containing an InP substrate (21), and a p type clad layer (27) and a multiplex quantum well active layer (25) whose number of wells is two or more, [ a n type clad layer (23), and ] Said n type clad layer (23) and said p type clad layer (27) with InP or AlInGaAs system material. Said multiplex quantum well active layer (25) comprises AlInGaAs system material, A semiconductor laser being thick in order as thickness (t11, t12, t13, t14) of a barrier layer (30) which constitutes said multiplex quantum well active layer (25) separates from a n type clad layer (23).

[Claim 5]In a semiconductor laser containing an InP substrate (31), and a p type clad layer (37) and a multiplex quantum well active layer (35) whose number of wells is two or more, [ a n type clad layer (33), and ] Said n type clad layer (33), said p type clad layer (37), and said multiplex quantum well active layer (35) comprise InGaAsP system material, A semiconductor laser being thick in order as thickness (t21, t22, t23, t24) of a barrier layer (40) which constitutes said multiplex quantum well active layer (35) separates from a p type clad layer (37).

[Claim 6]In a semiconductor laser containing a n type clad layer (3), and a p type clad layer (7) and a multiplex quantum well active layer (5) whose number of wells is two or more, A semiconductor laser, wherein energy band gaps ( $E_{g1}$ ,  $E_{g2}$ ,  $E_{g3}$ ,  $E_{g4}$ ) of a barrier layer (50) which constitutes said multiplex quantum well active layer (5) differ, respectively.

[Claim 7]In a semiconductor laser containing a n type clad layer (3), and a p type clad layer (7) and a multiplex quantum well active layer (5) whose number of wells is two or more, A semiconductor laser being large in order as an energy band gap ( $E_{g1}$ ,  $E_{g2}$ ,  $E_{g3}$ ,  $E_{g4}$ ) of a barrier layer (50) which constitutes said multiplex quantum well active layer (5) separates from a n type clad layer (3).

[Claim 8]In a semiconductor laser containing a n type clad layer (33), and a p type clad layer (37) and a multiplex quantum well active layer (35) whose number of wells is two or more, A semiconductor laser being large in order as an energy band gap ( $E_{g21}$ ,  $E_{g22}$ ,  $E_{g23}$ ,  $E_{g24}$ ) of a barrier layer (70) which constitutes said multiplex quantum well active layer (35) separates from a p type clad layer (37).

[Claim 9]The semiconductor laser according to claim 7, wherein band offset ( $\Delta E_c$ ) by the side of a conducting zone comprises a larger material than band offset ( $\Delta E_v$ ) by the side of a valence band.

[Claim 10]The semiconductor laser according to claim 8, wherein band offset ( $\Delta E_v$ ) of a valence band comprises a larger material than band offset ( $\Delta E_c$ ) by the side of a conducting zone.

[Claim 11]A semiconductor laser given in any 1 paragraph of Claims 6–9 characterized by a multiplex quantum well active layer (5) comprising AlGaAs system material using GaAs as a substrate (1).

[Claim 12]A semiconductor laser given in any 1 paragraph of Claims 6–9 characterized by a multiplex quantum well active layer (25) comprising AlInGaAs system material using InP as a substrate (21).

[Claim 13]Claim 6 characterized by a multiplex quantum well active layer (35) comprising InGaAsP system material using InP as a substrate (31), a semiconductor laser given in any 1 paragraph of 7, 8, and 10.

[Claim 14]In a semiconductor laser containing a GaAs substrate (1), and a p type clad layer (7) and a multiplex quantum well active layer (5) whose number of wells is two or more, [ a n type clad layer (3), and ] Said n type clad layer (3), said p

type clad layer (7), and said multiplex quantum well active layer (5) comprise AlGaAs system material, A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg1, Eg2, Eg3, Eg4) of a barrier layer (50) which constitutes said multiplex quantum well active layer (5) separates from a n type clad layer (3).

[Claim 15]In a semiconductor laser containing an InP substrate (21), and a p type clad layer (27) and a multiplex quantum well active layer (25) whose number of wells is two or more, [ a n type clad layer (23), and ] Said n type clad layer (23) and said p type clad layer (27) with InP or AlInGaAs system material. Said multiplex quantum well active layer (25) comprises AlInGaAs system material, A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg11, Eg12, Eg13, Eg14) of a barrier layer (60) which constitutes said multiplex quantum well active layer (25) separates from a n type clad layer (23).

[Claim 16]In a semiconductor laser containing an InP substrate (31), and a p type clad layer (37) and a multiplex quantum well active layer (35) whose number of wells is two or more, [ a n type clad layer (33), and ] Said n type clad layer (33), said p type clad layer (37), and said multiplex quantum well active layer (35) comprise InGaAsP system material, A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg21, Eg22, Eg23, Eg24) of a barrier layer (70) which constitutes said multiplex quantum well active layer (35) separates from a p type clad layer (37).

[Claim 17]In a semiconductor laser containing a n type clad layer (3), and a p type clad layer (7) and a multiplex quantum well active layer (5) whose number of wells is two or more, Band offset ( $\Delta E_c$ ) by the side of a conducting zone comprises a larger material system than band offset ( $\Delta E_v$ ) by the side of a valence band, While being large in order as thickness (t31, t32, t33, t34) of a barrier layer (80) which constitutes said multiplex quantum well active layer (5) separates from a n type clad layer (3), A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg31, Eg32, Eg33, Eg34) of a barrier layer (80) separates from a n type clad layer (3).

[Claim 18]In a semiconductor laser containing a n type clad layer (33), and a p type clad layer (37) and a multiplex quantum well active layer (35) whose number of wells is two or more, Band offset ( $\Delta E_v$ ) by the side of a valence band comprises a larger material system than band offset ( $\Delta E_c$ ) by the side of a conducting zone, While being large in order as thickness (t51, t52, t53, t54) of a barrier layer (100) which constitutes said multiplex quantum well active layer (35) separates from a p type clad layer (37), A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg51, Eg52, Eg53, Eg54) of a barrier layer (100) separates from a p type clad layer (37).

[Claim 19]In a semiconductor laser characterized by comprising the following, said n type clad layer (3), said p type clad layer (7), and said multiplex quantum well active layer (5) comprise AlGaAs system material, While becoming thick in order as thickness (t31, t32, t33, t34) of a barrier layer (80) which constitutes said multiplex quantum well active layer (5) separates from a n type clad layer (3), A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg31, Eg32, Eg33, Eg34) of a barrier layer (80) separates from a n type clad layer (3).

A GaAs substrate (1).

A n type clad layer (3).

A p type clad layer (7).

A multiplex quantum well active layer (5) whose number of wells is two or more.

[Claim 20]In a semiconductor laser characterized by comprising the following, said n type clad layer (23) and said p type clad layer (27) with InP or AlInGaAs system material. Said multiplex quantum well active layer (25) comprises AlInGaAs system material, While becoming thick in order as thickness (t41, t42, t43, t44) of a barrier layer (90) which constitutes said multiplex quantum well active layer (25) separates from a n type clad layer (23), A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg41, Eg42, Eg43, Eg44) of a barrier layer (90) separates from a n type clad layer (23).

An InP substrate (21).

A n type clad layer (23).

A p type clad layer (27).

A multiplex quantum well active layer (25) whose number of wells is two or more.

[Claim 21]In a semiconductor laser characterized by comprising the following, said n type clad layer (33), said p type clad layer (37), and said multiplex quantum well active layer (35) comprise InGaAsP system material, While becoming thick in order as thickness (t51, t52, t53, t54) of a barrier layer (100) which constitutes said multiplex quantum well active layer (35) separates from a p type clad layer (37), A semiconductor laser being large in order as an energy band gap (Eg51, Eg52, Eg53, Eg54) of a barrier layer (100) separates from a p type clad layer (37).

An InP substrate (31).

A n type clad layer (33).

A p type clad layer (37).

A multiplex quantum well active layer (35) whose number of wells is two or more.

[Claim 22]A semiconductor laser given in any 1 paragraph of Claims 1-21, wherein the number of wells of said multiplex quantum well active layer is five or more.

[Claim 23]A semiconductor laser given in any 1 paragraph of Claims 1-22, wherein stripe width of a luminous region in said semiconductor active layer is not less than 100 micrometers.

[Translation done.]



\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to the semiconductor laser used as semiconductor lasers for processing, such as an object for ranging which starts a semiconductor laser, for example, constitutes eyes, a laser radar system, etc. of a robot, or laser welding.

[0002]

[Description of the Prior Art]The multiple quantum well structure (Multiple Quantum Well:MQW) which constitutes an active layer from two or more quantum wells is used as a means which reduces the oscillation threshold current of a semiconductor laser, or raises luminous efficiency. In this structure, the small well layer of an energy band gap and the large barrier layer of an energy band gap are laminated by turns, and are formed. Here, if thickness of a well layer is made thin to about 20 nm or less, a quantum effect will show up. The laser of the above-mentioned MQW structure is laser using this quantum effect.

[0003]Usually, in these MQW structures, well layers and barrier layers are made the same, respectively, and the thickness and the energy band gap of two or more well layers and a barrier layer form them as indicated by JP,H7-221395,A, for example.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]An example of the energy band figure of the structure generally called SCH-MQW (SCH:Separate Confinement Heterostructure) is shown in drawing 17. In the n type clad layer side to an electron hole, an electron is poured in for the electron and electron hole which are careers into an MQW active layer from the p type clad layer side, respectively. The electron and electron hole which were poured in emit light by recombining by the well layer in an MQW active layer, and serve as a laser beam. Therefore, in order to acquire an efficient laser characteristic, it is necessary to make an electron and an electron hole recombine efficiently. However, since the semiconductor laser usually has diode structure of pn junction, the direction of grouting of an electron and an electron hole is an opposite direction. That is, an electron hole is poured in from the p type clad layer side to an electron being poured in from the n type clad layer side. Therefore, when an active layer is MQW structure, in drawing 17, it becomes like drawing 18 as carrier density in the position  $x=1$  which touches p-light guide layer from the position  $x=0$  which touches n-light guide layer in an MQW active layer. Since an electron serves as distribution which inclined toward the n type layer side as shown in this drawing 18, and an electron hole becomes the distribution which inclined toward the p type layer side, the recombination rate between electronic-electron holes serves as uneven distribution which serves as the maximum in a certain position rather than as shown in drawing 19, is uniform within an active layer. The heterogeneity of such distribution becomes the cause of reducing a laser characteristic. In order to change with the size relation of band offset (conducting-zone side:  $\Delta E_c$ , valence-band side  $\Delta E_v$ ), it is necessary to design the shape of distribution appropriately according to material.

[0005]Then, the purpose of this invention raises the homogeneity of carrier density distribution, and there is threshold current in providing the semiconductor laser which can obtain low efficient laser.

[0006]

[Means for Solving the Problem]In a semiconductor laser containing a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, band offset by the side of a conducting zone is constituted from an invention of Claim 1 by larger material ( $\Delta E_c > \Delta E_v$ ) than band offset by the side of a valence band. In such a material system, since a potential barrier by the side of a conducting zone is expensive, it has become a career by the side of a conducting zone, i.e., structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, thickness of a barrier layer by the side of a n type clad layer is made thin, and an electron makes it be easy to be poured in to the p type clad layer side by thickening gradually so that an electron may be poured in efficiently. As a result, the homogeneity of carrier density distribution of an electron can improve further, and, as a result, can make threshold current low more effectively, and efficient laser can be obtained.

[0007]In a semiconductor laser containing a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, band offset by the side of a valence band is constituted from an invention of Claim 2 by larger material ( $\Delta E_c < \Delta E_v$ ) than band offset by the side of a conducting zone. In such a material system, since a potential barrier by the side of a valence band is expensive, it has become a career by the side of a valence band, i.e., structure where a direction of an electron hole is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, thickness of a barrier layer by the side of a p type clad layer is made thin, and an electron hole is carrying out by thickening gradually that it is easy to be poured in to the n type clad layer side so that an electron hole may be poured in efficiently. As a result, the homogeneity of carrier density distribution of an electron hole can improve

further, and, as a result, can make threshold current low more effectively, and efficient laser can be obtained.

[0008]A multiplex quantum well active layer is constituted from an invention of Claim 3 by AlGaAs system material on a GaAs substrate. In this material, since band offset by the side of a conducting zone is larger than band offset by the side of a valence band, it has structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, about an electron, since the barrier layer near a n type clad layer is thin, it becomes easy to carry out tunneling by forming thickly in order, as thickness of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a n type clad layer (it becomes easy to pass). As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0009]A multiplex quantum well active layer is constituted from an invention of Claim 4 by AlInGaAs system material on an InP substrate. In this material system, band offset by the side of a conducting zone is larger than band offset by the side of a valence band. Therefore, the same operation and effect as Claim 3 can be acquired by forming thickly in order as thickness of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a n type clad layer.

[0010]A multiplex quantum well active layer is constituted from an invention of Claim 5 by InGaAsP system material on an InP substrate. In this material system, since band offset by the side of a valence band is larger than band offset by the side of a conducting zone, it has structure where a direction of an electron hole is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, about an electron hole, since the barrier layer near a p type clad layer is thin, it becomes easy to carry out tunneling by forming thickly in order, as thickness of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a p type clad layer (it becomes easy to pass). As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron hole in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0011]In an invention of Claim 6, it is considered as structure which differs in an energy band gap of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer in a semiconductor laser containing a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, respectively. Therefore, since a conducting-zone and valence-band side can design suitable for each so that distribution of carrier density of an electron and an electron hole may become uniform according to a component, laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0012]In a semiconductor laser which contains a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more in an invention of Claim 7, It is characterized by being large in order as an energy band gap of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a n type clad layer. About an electron, since the energy band gap of a barrier layer near a n type clad layer is small, it becomes that it is easy to be poured in to the next well layer. Therefore, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0013]In a semiconductor laser which contains a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more in an invention of Claim 8, It is characterized by being large in order as an energy band gap of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a p type clad layer. About an electron hole, since the energy band gap of a barrier layer near a p type clad layer is small, it becomes that it is easy to be poured in to the next well layer. Therefore, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron hole in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0014]In the invention according to claim 7, band offset by the side of a conducting zone is constituted from an invention of Claim 9 by larger material than band offset by the side of a valence band. In such a material system, since a potential barrier by the side of a conducting zone is expensive, it has become a career by the side of a conducting zone, i.e., structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, an electron is made easy to pour in to the p type clad layer side by making small an energy band gap of a barrier layer of a side near a n type clad layer, and enlarging it gradually so that an electron may be poured in efficiently. As a result, when the homogeneity of carrier density distribution of an electron in an active layer mainly improves, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0015]In the invention according to claim 8, band offset by the side of a valence band is constituted from an invention of Claim 10 by larger material than band offset by the side of a conducting zone. In such a material system, since a potential barrier by the side of a valence band is expensive, it has become a career by the side of a valence band, i.e., structure where a direction of an electron hole is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, an electron hole is made easy to pour in to the n type clad layer side by making small an energy band gap of a barrier layer of a side near a p type clad layer, and enlarging it gradually so that an electron hole may be poured in efficiently. As a result, when the homogeneity of carrier density distribution of an electron hole in an active layer mainly improves, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0016]In an invention of Claim 11, in the semiconductor laser according to claim 6 to 9, since a multiplex quantum well active layer comprises AlGaAs system material, using GaAs as a substrate, band offset by the side of a conducting zone is larger than band offset by the side of a valence band. With this material composition, it has structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, by changing an energy band gap of each



barrier layer of a multiplex quantum well active layer, carrier density distribution of an electron can mainly be considered as distribution nearer to homogeneity, and, as a result, low efficient laser of threshold current can be obtained.

[0017]In an invention of Claim 12, in the semiconductor laser according to claim 6 to 9, since a multiplex quantum well active layer comprises AlInGaAs system material, using InP as a substrate, band offset by the side of a conducting zone is larger than band offset by the side of a valence band. With this material composition, it has structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, by changing an energy band gap of each barrier layer of a multiplex quantum well active layer, carrier density distribution of an electron can mainly be considered as distribution nearer to homogeneity, and, as a result, low efficient laser of threshold current can be obtained.

[0018]In an invention of Claim 13, in Claim 6 and a semiconductor laser given in 7, 8, and 10, since a multiplex quantum well active layer comprises InGaAsP system material, using InP as a substrate, band offset by the side of a valence band is larger than band offset by the side of a conducting zone. With this material composition, it has structure where a direction of an electron hole is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, by changing an energy band gap of each barrier layer of a multiplex quantum well active layer, carrier density distribution of an electron hole can mainly be considered as distribution nearer to homogeneity, and, as a result, low efficient laser of threshold current can be obtained.

[0019]A multiplex quantum well active layer is constituted from an invention of Claim 14 by AlGaAs system material on a GaAs substrate. In this material system, since band offset by the side of a conducting zone is larger than band offset by the side of a valence band, it has structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, by making it become large in order as an energy band gap of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a n type clad layer about an electron. Since the energy band gap of a barrier layer near a n type clad layer is small, it is easy to be poured in to the next well layer. As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0020]A multiplex quantum well active layer is constituted from an invention of Claim 15 by AlInGaAs system material on an InP substrate. In this material system, since band offset by the side of a conducting zone is larger than band offset by the side of a valence band, it has structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, the same operation and effect as Claim 14 can be acquired by making it become large in order as an energy band gap of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a n type clad layer.

[0021]A multiplex quantum well active layer is constituted from an invention of Claim 16 by InGaAsP system material on an InP substrate. In this material system, since band offset by the side of a valence band is larger than band offset by the side of a conducting zone, it has structure where a direction of an electron hole is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Therefore, by making it become large in order as an energy band gap of a barrier layer which constitutes a multiplex quantum well active layer separates from a p type clad layer about an electron hole. Since the energy band gap of a barrier layer near a p type clad layer is small, it becomes that it is easy to be poured in to the next well layer. As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron hole in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0022]In an invention of Claim 17, an effect of both inventions according to claim 1 and the inventions according to claim 7 is aimed at. Namely, in a semiconductor laser containing a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, While forming thickly in order thickness of a barrier layer which band offset by the side of a conducting zone is constituted from band offset by the side of a valence band by large material system, and constitutes a multiplex quantum well active layer as it separates from a n type clad layer, An energy band gap of a barrier layer is enlarged in order as it separates from a n type clad layer. With this material composition, since a potential barrier by the side of a conducting zone is expensive, it has become a career by the side of a conducting zone, i.e., structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Then, pouring to the next well layer is more effectively performed about an electron by changing both thickness of a barrier layer of a multiplex quantum well active layer, and an energy band gap, as mentioned above. As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0023]In an invention of Claim 18, an effect of both inventions according to claim 2 and the inventions according to claim 8 is aimed at. Namely, in a semiconductor laser containing a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, While forming thickly in order thickness of a barrier layer which band offset by the side of a valence band is constituted from band offset by the side of a conducting zone by large material system, and constitutes a multiplex quantum well active layer as it separates from a p type clad layer, An energy band gap of a barrier layer is enlarged in order as it separates from a p type clad layer. With this material composition, since a potential barrier by the side of a valence band is expensive, it has become a career by the side of a valence band, i.e., structure where a direction of an electron hole is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Then, pouring to the next well layer is more effectively performed about an electron hole by changing both thickness of a barrier layer of a multiplex quantum well active layer, and an energy band gap, as mentioned above. As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron hole in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0024]In an invention of Claim 19, an effect of both inventions according to claim 3 and the inventions according to claim 14 is aimed at. Namely, in a semiconductor laser containing a GaAs substrate, a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, While forming thickly in order thickness of a barrier layer which a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer comprise AlGaAs system material, and constitutes a multiplex quantum well active layer as it separates from a n type clad layer, An energy band gap of a barrier layer is enlarged in order as it separates from a n type clad layer. With this material composition, since a potential barrier by the side of a conducting zone is expensive, it has become a career by the side of a conducting zone, i.e., structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Then, pouring to the next well layer is more effectively performed about an electron by changing both thickness of a barrier layer of a multiplex quantum well active layer, and an energy band gap, as mentioned above. As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0025]In an invention of Claim 20, an effect of both inventions according to claim 4 and the inventions according to claim 15 is aimed at. Namely, in a semiconductor laser containing an InP substrate, a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, a n type clad layer and a p type clad layer with InP or AlInGaAs system material. While forming thickly in order thickness of a barrier layer which a multiplex quantum well active layer comprises AlInGaAs system material, and constitutes a multiplex quantum well active layer as it separates from a n type clad layer, An energy band gap of a barrier layer is enlarged in order as it separates from a n type clad layer. With this material composition, since a potential barrier by the side of a conducting zone is expensive, it has become a career by the side of a conducting zone, i.e., structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Then, pouring to the next well layer is more effectively performed about an electron by changing both thickness of a barrier layer of a multiplex quantum well active layer, and an energy band gap, as mentioned above. As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0026]In an invention of Claim 21, an effect of both inventions according to claim 5 and the inventions according to claim 16 is aimed at. Namely, in a semiconductor laser containing an InP substrate, a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer whose number of wells is two or more, While forming thickly in order thickness of a barrier layer which a n type clad layer, a p type clad layer, and a multiplex quantum well active layer comprise InGaAsP system material, and constitutes a multiplex quantum well active layer as it separates from a p type clad layer, An energy band gap of a barrier layer is enlarged in order as it separates from a p type clad layer. With this material composition, since a potential barrier by the side of a valence band is expensive, it has become a career by the side of a valence band, i.e., structure where a direction of an electron hole is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer. Then, pouring to the next well layer is more effectively performed about an electron hole by changing both thickness of a barrier layer of a multiplex quantum well active layer, and an energy band gap, as mentioned above. As a result, the homogeneity of recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of an electron hole in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0027]In an invention of Claim 22, the number of wells of a multiplex quantum well active layer is made or more into five in the semiconductor laser according to any one of claims 1 to 21. Therefore, a semiconductor laser of high power can be obtained, without a career poured in into a multiplex quantum well active layer at the time of a high current drive overflowing.

[0028]since stripe width of a luminous region of a semiconductor active layer is not less than 100 micrometers in an invention of Claim 23 in the semiconductor laser according to any one of claims 1 to 22 -- several -- pulse current of 10A -- several -- a high power semiconductor laser of a 10W class can be obtained.

[0029]

[Embodiment of the Invention](A 1st embodiment) A 1st embodiment that materialized this invention is hereafter described based on Drawings.

[0030]The section structure of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 1. The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser of this embodiment is shown in drawing 2.

[0031]In drawing 1, The active layer 5 which consists of n-GaAs buffer layer 2, the n-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 3, the n-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 4, and aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As/GaAs multiple quantum well structure on n-GaAs substrate 1, The p-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 6, the p-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 7, and the p-GaAs cap layer 8 are laminated in order. As the active layer 5 is shown in drawing 2, aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As and GaAs are laminated by turns, and 5 stratification of four layers and the GaAs is carried out for aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As. In this case, small GaAs of an energy band gap serves as the well layer 13, and large aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As of an energy band gap serves as the barrier layer 14. In drawing 1, The n-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 3. The n-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 4, MQW active layer 5, the p-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 6, the p-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 7, and the p-GaAs cap layer 8 serve as mesa. While the insulator layer 9 is formed in the upper surface of this mesa part and n-GaAs buffer layer 2, the window part 9a is formed in the upper surface (upper surface of the p-GaAs cap layer 8) of the mesa part in the insulator layer 9. On the insulator layer 9 including this window part 9a, the p type electrode 10 which consists of Cr/Pt/Au is formed.



[0032]As for the thickness of n-GaAs buffer layer 2, the thickness of 1 micrometer and the n-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 4 of the thickness of 500 nm and the n-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 3 is 1 micrometer.

[0033]In order as are shown in drawing 2 and the thickness t1 of aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As which is the barrier layer 14, t2, t3, and t4 separate from the n-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 3 in the active layer 5 t1=3nm, t2=4nm, t3=5nm, It forms 1 nm at a time thickly with t4=6nm. About the thickness of GaAs well layer 13 in the active layer 5, it is 12 nm respectively, and much more thickness is constant. Therefore, the total thickness of the active layer 5 is 78 nm.

[0034]As for the thickness of the p-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 6 of drawing 1, the thickness of 1 micrometer and the p-GaAs cap layer 8 of the thickness of 1 micrometer and the p-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 7 is 0.8 micrometer.

[0035]On the other hand, the n type electrode 11 which consists of AuGe/nickel/Au is formed in the rear face of n-GaAs substrate 1, and n-GaAs substrate 1 and ohmic contact are taken. Au / Sn layer 12 as a jointing material are formed in the surface of this n type electrode 11, and the plinth of a semiconductor laser element, Cu which is not illustrated, or the product made from Fe is joined by this.

[0036]Next, the manufacturing method of this high power semiconductor laser is explained. first, On n-GaAs substrate 1 in drawing 1, by the MBE (Molecular Beam Epitaxy) method, the MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) method, etc. The n-GaAs buffer layer 2, n-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 3, and n-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 4, the active layer 5 which consists of aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As/GaAs multiple quantum well structure, The p-aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 6, the p-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 7, and the p-GaAs cap layer 8 are laminated one by one. Then, a mesa part is formed by etching.

[0037]Then, the insulator layer 9 which becomes the upper surface of n-GaAs buffer layer 2 and a mesa part from SiO<sub>2</sub> is formed with plasma CVD method, and \*\*\*\* opium poppy \*\*\*\*\* 9a is formed by etching. The width of this window part 9a turns into stripe width (stripe width of the luminous region in an active layer). Then, the p type electrode 10 which consists of Cr/Pt/Au (15 nm of thickness/300 nm/600 nm) is formed with electron beam evaporation method on the insulator layer 9, it heat-treats in about 360 \*\*, and ohmic contact is taken. Ti/Pt/Au etc. may be used for others as a material of the p type electrode 10.

[0038]It heat-treats by forming in the rear face of n-GaAs substrate 1 the n type electrode 11 which consists of AuGe/nickel/Au with electron beam evaporation method, and an ohmic electrode is taken. Then, Au / Sn layer 12 is formed with electron beam evaporation method. Cleavage of the end face is carried out to the last, and it is considered as a semiconductor laser chip.

[0039]The sizes of this high power semiconductor laser (semiconductor laser chip) in every direction are 500 micrometers x 800 micrometers, and stripe width is 400 micrometers. In the high power semiconductor laser of tens of ClassW, in order to obtain high power, not less than at least 100 micrometers of stripe width of the electrode for sending current are required for an element.

[0040]The multiplex quantum well active layer 5 is constituted from this embodiment by AlGaAs system material. That is, in aluminum<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As, the well layer 13 is GaAs of x= 0, and the barrier layer 14 is aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As of x= 0.2.

Therefore, as drawing 2 shows, band offset deltaEc by the side of a conducting zone is larger than band offset deltaEv by the side of a valence band. Therefore, since the potential barrier by the side of a conducting zone is the structure where electronic one is hard to be poured in into MQW highly, By forming thickly in order as the thickness t1 of the barrier layer 14 in MQW, t2, t3, and t4 separate from the n-AlGaAs cladding layer 3, (t1<t2<t3<t4), An electron can pour in efficiently (an electron being easy to be poured in to the p type clad layer 7 side), and can consider it as distribution nearer to homogeneity. That is, since the barrier layer near [ electron ] the n type clad layer 3 is thin, it becomes easy to carry out tunneling (become easy to pass), and the homogeneity of carrier density distribution of the electron in an active layer mainly improves. As a result, the recombination rate of an electron and an electron hole serves as uniformly near distribution, and can obtain efficient laser with low threshold current.

[0041]The simulation result of the recombination rate distribution by the simulation result of carrier density distribution of an electron and an electron hole in drawing 3 is shown in drawing 4. Drawing 3 and the horizontal axis in 4 are the positions x in an active layer (refer to drawing 2), set to x= 0 the position which touches the n-light guide layer 4, and are setting to x= 1 the position which touches the p-light guide layer 6.

[0042]The simulation calculated the carrier density of the electron and the electron hole with the model simplified like a following formula as D<sub>e</sub>(x) and D<sub>h</sub>(x), respectively.

$$D_e(x) = 1/\alpha_{e_e} \text{ and } [1 - \exp(-\alpha_{e_e})] * \exp[-\alpha_{e_e}x]$$

... (1)

$$D_h(x) = 1/\alpha_{h_h} \text{ and } [1 - \exp(-\alpha_{h_h})] * \exp[-\alpha_{h_h}(1-x)]$$

... (2)

However, the damping coefficient of electron density and alpha<sub>h</sub> of alpha<sub>e</sub> are the damping coefficients of hole density.

[0043]The recombination rate between electronic-electron holes was calculated noting that it was restricted by the smaller one among the densities of the electron calculated by the above (1) and (2) formulas, and an electron hole. Here, pouring of an electron and an electron hole is carried out by changing parameter alpha<sub>e</sub> of calculation, and alpha<sub>h</sub>, and it can express easy quantitatively (in this calculation, it was referred to as alpha<sub>e</sub>=alpha<sub>h</sub>=0.2 and it is assumed that career pouring of an electron is the same as career pouring of an electron hole).

[0044]It has checked doing the following effects so by changing the thickness of a barrier layer in order and forming it in



an MQW active layer, from drawing 3 and the simulation result shown in 4.

[0045]First, drawing 3 is compared with drawing 18. Drawing 18 is a simulation result at the time of setting thickness of a barrier layer constant like drawing 17. Compared with drawing 18, as for drawing 3, carrier density distribution of an electron and an electron hole becomes near uniformly. Next, drawing 4 is compared with drawing 19. Drawing 19 is a simulation result at the time of setting thickness of a barrier layer constant like drawing 17. Compared with drawing 19, the recombination rate distribution between electronic-electron holes is equalizing drawing 4. As a result, when the structure of this embodiment is applied as a laser device, laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0046]what stripe length shall be not less than 100 micrometers -- several -- in the pulse current of 10A -- several -- the laser beam of a 10W class can be obtained. As explained in full detail above, according to this embodiment, recombination rate distribution of the carrier within an MQW active layer can be made uniform by making the density distribution of an electron and an electron hole become uniform distribution according to band offset peculiar to material. Therefore, when this structure is applied to a semiconductor laser, an efficient laser characteristic can be acquired with low threshold current.

[0047]The semiconductor laser of high power can be obtained by making the number of wells of a multiplex quantum well active layer or more into five, without the carrier poured in into the multiplex quantum well active layer at the time of a high current drive overflowing. what the stripe width of the luminous region of a semiconductor active layer shall be not less than 100 micrometers although stated above -- several -- the pulse current of 10A -- several -- the high power semiconductor laser of a 10W class can be obtained.

(A 2nd embodiment), next a 2nd embodiment are described focusing on a point of difference with a 1st embodiment.

[0048]The sectional view of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 5. The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser of this embodiment is shown in drawing 6.

[0049]In drawing 5, On n-InP substrate 21, n-InP buffer layer 22, The n-InP cladding layer 23 and n-aluminum<sub>0.23</sub>In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.24</sub>As light guide layer 24, the active layer 25 which consists of AlInGaAs multiple quantum well structure, the p-aluminum<sub>0.23</sub>In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.24</sub>As light guide layer 26, The p-InP cladding layer 27 and the p-InGaAs cap layer 28 are laminated in order. The n type clad layer 23 and the p type clad layer 27 may use AlInGaAs system material. As the active layer 25 is shown in drawing 6, the AlInGaAs well layer 29 and the AlInGaAs barrier layer 30 are arranged by turns. In aluminum<sub>x</sub>In<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>As, the well layers 29 of a concrete presentation are x= 0 and y= 0.53, and the barrier layers 30 are x= 0.23 and y= 0.53.

[0050]Thus, InP substrate 21, the n type clad layer 23, and the p type clad layer 27, Are a semiconductor laser containing the multiplex quantum well active layer 25 whose number of wells is two or more, and the n type clad layer 23 and the p type clad layer 27 with InP (or AlInGaAs) system material. The multiplex quantum well active layer 25 comprises AlInGaAs system material (aluminum<sub>x</sub>In<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>As). And it is thick in order as the thickness t11 of the barrier layer 30 which constitutes the multiplex quantum well active layer 25, t12, t13, and t14 separate from the n type clad layer 23 (t11<t12<t13<t14).

[0051]In the semiconductor laser of this embodiment which used AlInGaAs system material as the multiplex quantum well active layer 25 on InP substrate 21 like the above, Band offset deltaEc by the side of a conducting zone is larger than band offset deltaEv by the side of a valence band, By forming thickly in order the thickness of the barrier layer 30 which constitutes the multiplex quantum well active layer 25 as it separates from the n type clad layer 23, the same operation and effect as a 1st embodiment can be acquired.

(A 3rd embodiment), next a 3rd embodiment are described focusing on a point of difference with a 1st embodiment.

[0052]The sectional view of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 7. The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser of this embodiment is shown in drawing 8.

[0053]The active layer 35 which becomes from n-InP buffer layer 32, the n-InP cladding layer 33, the n-InGaAsP light guide layer 34 of the presentation used as energy band gap Eg=1.05eV, and InGaAsP/InGaAs multiple quantum well structure at the n-InP substrate 31 top, Energy band gap Eg = the p-InGaAsP light guide layer 36 of the presentation used as 1.05 eV, the p-InP cladding layer 37, and the p-InGaAs cap layer 38 are laminated in order. InGaAsP of the presentation from which the active layer 35 is set to energy band gap Eg=1.05eV, and In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As are laminated by turns, and 5 stratification of four layers and the In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As is carried out for InGaAsP. In this case, small

In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As (Eg = 0.75 eV) of an energy band gap serves as the well layer 39, and large InGaAsP (Eg = 1.05 eV) of an energy band gap serves as the barrier layer 40. The n-InP cladding layer 33, the n-InGaAsP light guide layer 34, MQW active layer 35, the p-InGaAsP light guide layer 36, the p-InP cladding layer 37, and the p-InGaAs cap layer 38 serve as mesa.

[0054]As for the thickness of n-InP buffer layer 32, the thickness of 1 micrometer and the n-InGaAsP light guide layer 34 of the thickness of 500 nm and the n-InP cladding layer 33 is 1 micrometer. In the active layer 35, it forms 1 nm at a time thickly in order with t21=3nm, t22=4nm, t23=5nm, and t24=6nm as the thickness t21 of InGaAsP which is the barrier layer 40, t22, t23, and t24 separate from the p-InP cladding layer 37. The thickness of the InGaAs well layer 39 in the active layer 35 is 12 nm respectively, and much more thickness is constant. Therefore, the total thickness of the active layer 35 is 78 nm.

[0055]As for the thickness of the p-InGaAsP light guide layer 36, the thickness of 1 micrometer and the p-InGaAs cap layer 38 of the thickness of 1 micrometer and the p-InP cladding layer 37 is 0.8 micrometer.

[0056]The n type electrode 11 which consists of AuGe/nickel/Au is formed in the rear face of n-InP substrate 31, and n-InP substrate 31 and ohmic contact are taken. Au / Sn layer 12 as a jointing material are formed in the surface of this n type electrode 11, and the plinth of a semiconductor laser element, Cu which is not illustrated, or the product made

from Fe is joined by this.

[0057]The sizes of this high power semiconductor laser in every direction are 500 micrometers x 800 micrometers, and stripe width is 400 micrometers. In the high power semiconductor laser of tens of ClassW, in order to obtain high power, not less than at least 100 micrometers of stripe width of the electrode for sending current are required for an element.

[0058]The multiplex quantum well active layer is constituted from this embodiment by InGaAsP system material. That is, in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ , the well layers 39 are  $x=0.53$  and  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  of  $y=1$ , and the barrier layer 40 is InGaAsP of  $x=0.79$  and  $y=0.45$ . Therefore, band offset  $\Delta E_v$  by the side of a valence band is larger than band offset  $\Delta E_c$  by the side of a conducting zone ( $\Delta E_c < \Delta E_v$ ). Therefore, since it is the career by the side of a valence band, i.e., the structure where the direction of an electron hole is hard to be poured in into MQW, By forming thickly in order as the thickness  $t_{21}$  of the barrier layer 40 in MQW,  $t_{22}$ ,  $t_{23}$ , and  $t_{24}$  separate from the p-InP cladding layer 37, ( $t_{21} < t_{22} < t_{23} < t_{24}$ ), An electron hole can pour in efficiently (an electron hole being easy to be poured in to the n type clad layer 33 side), and can consider carrier density distribution of an electron hole as distribution nearer to homogeneity. That is, since the barrier layer near [ electron hole ] the p type clad layer 37 is thin, it becomes easy to carry out tunneling (become easy to pass), and the homogeneity of carrier density distribution of the electron hole in an active layer mainly improves. As a result, the recombination rate of an electron and an electron hole serves as uniformly near distribution, and can obtain efficient laser with low threshold current.

[0059]That is, it turns out that a result shown in drawing 3 and drawing 4 will be brought if the simulation of carrier density distribution and the recombination rate is carried out like a 1st embodiment also in this embodiment, and a recombination rate serves as uniformly near distribution. As a result, efficient laser can be obtained with low threshold current.

[0060]what stripe length shall be not less than 100 micrometers -- several -- in the pulse current of 10A -- several -- the laser beam of a 10W class can be obtained.

(A 4th embodiment), next a 4th embodiment are described focusing on a point of difference with a 1st embodiment.

[0061]The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 9. In the multiplex quantum well active layer 5 at this embodiment, It forms so that it may become large every [ 0.04 ] in order with  $x=0.04, 0.08, 0.12$ , and  $0.16$ , as Al composition ratio  $x$  of aluminum $_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  which is the barrier layer 50 separates from the n-aluminum $_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  cladding layer 3. At this time, thickness of the barrier layer 50 is set constant at 4 nm. Thus, it has composition from which energy band gap  $E_{g1}$  of the barrier layer 50,  $E_{g2}$ ,  $E_{g3}$ , and  $E_{g4}$  change in order like drawing 9 by changing Al composition ratio. That is, it is large in order as energy band gap  $E_{g1}$  of the barrier layer 50,  $E_{g2}$ ,  $E_{g3}$ , and  $E_{g4}$  separate from the n type clad layer 3 ( $E_{g1} < E_{g2} < E_{g3} < E_{g4}$ ). Other composition and thickness are the same as that of a 1st embodiment.

[0062]Also in such composition, the same effect as a 1st embodiment can be acquired. That is, since band offset  $\Delta E_c$  by the side of a conducting zone comprises a larger material than band offset  $\Delta E_v$  by the side of a valence band also in this composition, the potential barrier by the side of a conducting zone is expensive, and electronic one has material composition which is hard to be poured in into an MQW active layer. Therefore, the electron is made easy to pour in to the p type clad layer 7 side by making small the energy band gap of the barrier layer 50 of the side near [ in this embodiment ] the n type clad layer 3, and enlarging it gradually. That is, the electron is made easy to pour in to the p type clad layer 7 side by making small the energy band gap of the barrier layer of the side near the n type clad layer 3, and enlarging it gradually so that an electron may be poured in efficiently. As a result, when the homogeneity of carrier density distribution of the electron in the active layer 5 mainly improves like a 1st embodiment, the homogeneity of the recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

(A 5th embodiment), next a 5th embodiment are described focusing on a point of difference with a 2nd embodiment.

[0063]The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 10. The n type clad layer 23 and the p type clad layer 27 with InP (or AlInGaAs) system material. The multiplex quantum well active layer 25 comprises AlInGaAs system material, It is large in order as energy band gap  $E_{g11}$  of the barrier layer 60 which constitutes the multiplex quantum well active layer 25,  $E_{g12}$ ,  $E_{g13}$ , and  $E_{g14}$  separate from the n type clad layer 23 ( $E_{g11} < E_{g12} < E_{g13} < E_{g14}$ ).

[0064]Thus, also in this embodiment, band offset  $\Delta E_c$  by the side of a conducting zone is larger than band offset  $\Delta E_v$  by the side of a valence band, and it has the structure where electronic one is hard to be poured in into the multiplex quantum well active layer 25. By changing the energy band gap of each barrier layer 60 of the multiplex quantum well active layer 25, therefore, ( $E_{g11} < E_{g12} < E_{g13} < E_{g14}$ ), Carrier density distribution of an electron can mainly be considered as distribution nearer to homogeneity, and, as a result, the low efficient laser of threshold current can be obtained.

(A 6th embodiment), next a 6th embodiment are described focusing on a point of difference with a 3rd embodiment.

[0065]The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 11. In this embodiment, in the multiplex quantum well active layer 35, in order as energy band gap  $E_{g21}$  of InGaAsP which is the barrier layer 70,  $E_{g22}$ ,  $E_{g23}$ , and  $E_{g24}$  separate from the p-InP cladding layer 37  $21=0.81$  eV of  $E_g(s)$ ,  $22=0.87$  eV of  $E_g(s)$ , It forms so that  $0.06$  eV may become large at a time with  $23=0.93$  eV of  $E_g(s)$ , and  $24=0.99$  eV of  $E_g(s)$ . At this time, thickness of the barrier layer 70 is set constant at 4 nm. Thus, it has composition from which the energy band gap of the barrier layer 70 changes in order like drawing 11 by changing the presentation of InGaAsP ( $E_{g21} < E_{g22} < E_{g23} < E_{g24}$ ). Other composition and thickness are the same as that of a 3rd embodiment.

[0066]Also in such composition, the same effect as a 3rd embodiment can be acquired. That is, since band offset  $\Delta E_v$  by the side of a valence band comprises a larger material than band offset  $\Delta E_c$  by the side of a conducting zone also



in this composition, the potential barrier by the side of a valence band is expensive, and the direction of an electron hole has material composition which is hard to be poured in into an MQW active layer. Therefore, the electron hole is made easy to pour in to the n type clad layer 33 side by making small the energy band gap of the barrier layer 70 of the side near [ in this embodiment ] the p type clad layer 37, and enlarging it gradually. That is, the electron hole is made easy to pour in to the n type clad layer 33 side by making small the energy band gap of the barrier layer of the side near the p type clad layer 37, and enlarging it gradually so that an electron hole may be poured in efficiently. As a result, like a 3rd embodiment, when the homogeneity of carrier density distribution of the electron hole in an active layer mainly improves, the homogeneity of the recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

(A 7th embodiment), next a 7th embodiment are described focusing on a point of difference with 1st and 4th embodiments.

[0067]The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 12. According to this embodiment, it has composition which combined a 1st embodiment and a 4th embodiment. In MQW active layer 5, in order as the thickness  $t_{31}$  of aluminum<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As which is the barrier layer 80,  $t_{32}$ ,  $t_{33}$ , and  $t_{34}$  separate from the n-aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As cladding layer 3 Namely,  $t_{31}=3\text{nm}$ ,  $t_{32}=4\text{nm}$ ,  $t_{33}=5\text{nm}$ , It forms 1 nm at a time thickly with  $t_{34}=6\text{nm}$ . It forms so that it may become large every [ 0.04 ] in order simultaneously with  $x=0.04, 0.08, 0.12$ , and  $0.16$  as Al composition ratio  $x$  separates from the n-AlGaAs cladding layer 3, It is large in order as energy band gap  $E_{g31}$  of the barrier layer 80,  $E_{g32}$ ,  $E_{g33}$ , and  $E_{g34}$  separate from the n type clad layer 3 ( $E_{g31}<E_{g32}<E_{g33}<E_{g34}$ ). Thus, it has composition that the thickness  $t_{31}$ – $t_{34}$  and the energy band gaps  $E_{g31}$ – $E_{g34}$  of the barrier layer 80 change in order like drawing 12 by changing simultaneously the thickness and Al composition ratio of the barrier layer 80. Other composition and thickness are the same as that of a 1st embodiment.

[0068]In such composition, since the effect of a 1st embodiment and a 4th embodiment can be acquired simultaneously, the effect can be increased. That is, since band offset  $\Delta E_c$  by the side of a conducting zone comprises a larger material than band offset  $\Delta E_v$  by the side of a valence band also in this composition, the potential barrier by the side of a conducting zone is expensive, and electronic one has material composition which is hard to be poured in into an MQW active layer.

[0069]Therefore, the electron is made easier to pour in to the p type clad layer 7 side, since thickness of the barrier layer 80 of the side near [ in this embodiment ] the n type clad layer 3 is made thin and the energy band gap is made small. That is, pouring to the next well layer is made to be performed more effectively about the electron. As a result, as a 1st embodiment and a 4th embodiment are shown in drawing 13 as compared with the case where it carries out independently, respectively, compared with drawing 3, the homogeneity of the carrier density distribution in an active layer can be raised further. By this, as shown in drawing 14, compared with drawing 4, the homogeneity of the recombination rate distribution between electronic-electron holes improves further, threshold current can be still lower and more efficient laser can be obtained now.

(An 8th embodiment), next an 8th embodiment are described focusing on a point of difference with 2nd and 5th embodiments.

[0070]The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 15. According to this embodiment, it has composition which combined a 2nd embodiment and a 5th embodiment. Namely, the n type clad layer 23 and the p type clad layer 27 with InP (or AlInGaAs) system material. The multiplex quantum well active layer 25 comprises AlInGaAs system material, While becoming thick in order as the thickness  $t_{41}$  of the barrier layer 90 which constitutes the multiplex quantum well active layer 25,  $t_{42}$ ,  $t_{43}$ , and  $t_{44}$  separate from the n type clad layer 23 ( $t_{41}<t_{42}<t_{43}<t_{44}$ ), It is large in order as energy band gap  $E_{g41}$  of the barrier layer 90,  $E_{g42}$ ,  $E_{g43}$ , and  $E_{g44}$  separate from the n type clad layer 23 ( $E_{g41}<E_{g42}<E_{g43}<E_{g44}$ ).

[0071]Thus, since the potential barrier by the side of a conducting zone is expensive in this embodiment, It has become the career by the side of a conducting zone, i.e., the structure where electronic one is hard to be poured in into a multiplex quantum well active layer, and pouring to the next well layer is more effectively performed about an electron by changing both the thickness of the barrier layer of a multiplex quantum well active layer, and an energy band gap. As a result, the homogeneity of the recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve because the homogeneity of carrier density distribution of the electron in an active layer mainly improves, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

(A 9th embodiment), next a 9th embodiment are described focusing on a point of difference with 3rd and 6th embodiments.

[0072]The energy band figure near the active layer of the high power semiconductor laser in this embodiment is shown in drawing 16. According to this embodiment, it has composition which combined a 3rd embodiment and a 6th embodiment. In MQW active layer 35, in order as the thickness  $t_{51}$  of the InGaAsP barrier layer 100,  $t_{52}$ ,  $t_{53}$ , and  $t_{54}$  separate from the p-InP cladding layer 37 Namely,  $t_{51}=3\text{nm}$ , While forming 1 nm at a time thickly with  $t_{52}=4\text{nm}$ ,  $t_{53}=5\text{nm}$ , and  $t_{54}=6\text{nm}$ , In order as energy band gap  $E_{g51}$  of the InGaAsP barrier layer 100,  $E_{g52}$ ,  $E_{g53}$ , and  $E_{g54}$  separate from the p-InP cladding layer 37  $51=0.81\text{ eV}$  of  $E_g(s)$ , It forms so that  $0.06\text{ eV}$  may become large at a time with  $52=0.87\text{ eV}$  of  $E_g(s)$ ,  $53=0.93\text{ eV}$  of  $E_g(s)$ , and  $54=0.99\text{ eV}$  of  $E_g(s)$ . Thus, the thickness and the energy band gap of the barrier layer 100 are considered as composition which changes like drawing 16 simultaneously. Other composition and thickness are the same as that of a 3rd embodiment.

[0073]In such composition, since the effect of a 3rd embodiment and a 6th embodiment can be acquired simultaneously, the effect can be increased. That is, since band offset  $\Delta E_v$  by the side of a valence band comprises a larger material than band offset  $\Delta E_c$  by the side of a conducting zone in this composition, the potential barrier by the side of a valence band is expensive, and the direction of an electron hole has material composition which is hard to be poured in



into an MQW active layer. Therefore, the electron hole is made easier to pour in to the n type clad layer 33 side, since thickness of the barrier layer 100 of the side near [ in this embodiment ] the p type clad layer 37 is made thin and the energy band gap is made small. That is, it is made to perform pouring to the next well layer more effectively about the electron hole. As a result, as compared with the case where a 3rd embodiment and a 6th embodiment are carried out independently, respectively, the homogeneity of carrier density distribution of the electron hole in an active layer can mainly be raised further. By this, the homogeneity of the recombination rate distribution between electronic-electron holes can improve further, and laser with it can be obtained. [ low threshold current and ] [ efficient ]

[0074]In each above-mentioned embodiment, although laser structure is laminated and formed on a n type substrate, even if it forms laser structure on a p type substrate, the same effect is completely acquired. Although both the thickness of each class of n-cladding layer (3) and n-light guide layer (4), p-light guide layer (6), and p-cladding layer (7) is 1 micrometer in each above-mentioned embodiment, It may form more thickly than 1 micrometer instead of what is limited to this, or may form thinly, and the thickness of each each class may be the same, or may differ. Although it is not limited to this although the thickness of one layer of well layers in an MQW active layer is 12 nm, and 30 nm or less in which a quantum effect shows up is usually used, considering the characteristic and the homogeneity of membrane formation, 2.5 nm – 20 nm are suitable.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

## [Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] The sectional view showing the composition of the semiconductor laser of a 1st embodiment.  
 [Drawing 2] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 1st embodiment.  
 [Drawing 3] The carrier density distribution map in the active layer of a 1st embodiment.  
 [Drawing 4] The career recombination rate distribution map within the active layer of a 1st embodiment.  
 [Drawing 5] The sectional view showing the composition of the semiconductor laser of a 2nd embodiment.  
 [Drawing 6] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 2nd embodiment.  
 [Drawing 7] The sectional view showing the composition of the semiconductor laser of a 3rd embodiment.  
 [Drawing 8] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 3rd embodiment.  
 [Drawing 9] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 4th embodiment.  
 [Drawing 10] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 5th embodiment.  
 [Drawing 11] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 6th embodiment.  
 [Drawing 12] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 7th embodiment.  
 [Drawing 13] The carrier density distribution map in the active layer of a 7th embodiment.  
 [Drawing 14] The career recombination rate distribution map within the active layer of a 7th embodiment.  
 [Drawing 15] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of an 8th embodiment.  
 [Drawing 16] The energy band figure near the active layer of the semiconductor laser of a 9th embodiment.  
 [Drawing 17] The energy band figure near the active layer of the conventional semiconductor laser (in the case of  $\Delta E_c > \Delta E_v$ )  
 [Drawing 18] The carrier density distribution map in the conventional active layer (in the case of  $\Delta E_c > \Delta E_v$ )  
 [Drawing 19] The career recombination rate distribution map within the conventional active layer (in the case of  $\Delta E_c > \Delta E_v$ )  
 [Drawing 20] The energy band figure near the active layer of the conventional semiconductor laser (in the case of  $\Delta E_c < \Delta E_v$ )  
 [Drawing 21] The carrier density distribution map in the conventional active layer (in the case of  $\Delta E_c < \Delta E_v$ )  
 [Drawing 22] The career recombination rate distribution map within the conventional active layer (in the case of  $\Delta E_c < \Delta E_v$ )

## [Description of Notations]

1 -- n-GaAs substrate, 2 -- n-GaAs buffer layer, 3 -- n-AlGaAs cladding layer, 4 -- A n-AlGaAs light guide layer, 5 -- MQW active layer (AlGaAs/GaAs multiplex quantum well), 6 -- A p-AlGaAs light guide layer, 7 -- p-AlGaAs cladding layer, 8 -- A p-GaAs cap layer, 9 -- An insulator layer, 10 -- P type electrode (Cr/Pt/Au), 11 -- A n type electrode (AuGe/nickel/Au), 12 -- Au-Sn layer, 13 -- Well layer, 14 -- A barrier layer, 21 -- n-InP substrate, 22 -- n-InP buffer layer, 23 -- A n-InP cladding layer, 24 -- n-aluminum<sub>0.23</sub>In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.24</sub>As light guide layer, 25 -- MQW active layer (AlInGaAs/AlInGaAs multiplex quantum well), 26 -- p-aluminum<sub>0.23</sub>In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.24</sub>As light guide layer, 27 -- A p-InP cladding layer, 28 -- p-InGaAs cap layer, 29 [ -- n-InP buffer layer, 33 / -- A n-InP cladding layer, 34 / -- A n-InGaAsP light guide layer, 35 / -- An MQW active layer (InGaAsP/InGaAs multiplex quantum well), 36 / -- p-InGaAsP light guide layer, ] -- A well layer, 30 -- A barrier layer, 31 -- n-InP substrate, 32 37 [ -- A barrier layer, 50 / -- A barrier layer, 60 / -- A barrier layer, 70 / -- A barrier layer, 80 / -- A barrier layer, 90 / -- A barrier layer, 100 / -- Barrier layer. ] -- A p-InP cladding layer, 38 -- A p-InGaAs cap layer, 39 -- A well layer, 40

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-31902

(P2003-31902A)

(43)公開日 平成15年1月31日(2003.1.31)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 S 5/20

識別記号

6 1 0

F I

H 0 1 S 5/20

テーマコード(参考)

6 1 0

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願2001-215184(P2001-215184)

(22)出願日 平成13年7月16日(2001.7.16)

(71)出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72)発明者 安部 克則

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会

社デンソー内

(74)代理人 100068755

弁理士 恩田 博宣 (外1名)

Fターム(参考) 5F073 AA45 AA74 BA09 CA01 CB02

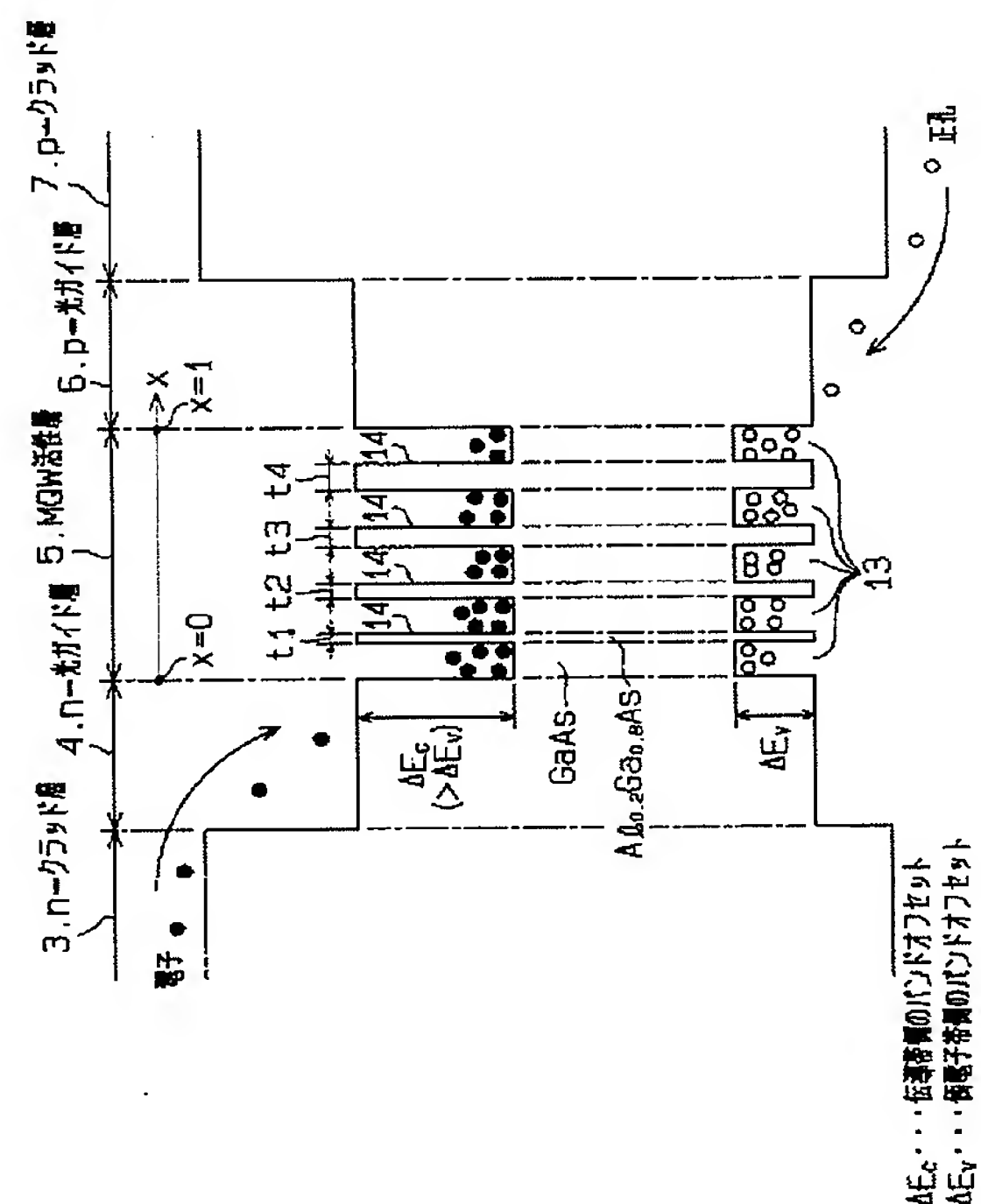
DA05 DA21 EA23

(54)【発明の名称】 半導体レーザ

(57)【要約】

【課題】キャリア密度分布の均一性を向上させて、しきい値電流が低く高効率なレーザを得ることができる半導体レーザを提供する。

【解決手段】GaAs基板と、n型クラッド層3と、p型クラッド層7と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層5を有している。n型クラッド層3とp型クラッド層7と多重量子井戸活性層5がAlGaAs系材料で構成され、多重量子井戸活性層5を構成する障壁層14の厚さ $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ がn型クラッド層3から離れるにしたがって順に厚くなっている( $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ )。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型クラッド層(3)と、p型クラッド層(7)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(5)を含み、伝導帯側のバンドオフセット( $\Delta E_c$ )が価電子帯側のバンドオフセット( $\Delta E_v$ )よりも大きい材料系で構成されている半導体レーザにおいて、前記多重量子井戸活性層(5)を構成する障壁層(14)の厚さ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ )がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に厚くなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】 n型クラッド層(33)と、p型クラッド層(37)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(35)を含み、価電子帯側のバンドオフセット( $\Delta E_v$ )が伝導帯側のバンドオフセット( $\Delta E_c$ )よりも大きい材料系で構成されている半導体レーザにおいて、前記多重量子井戸活性層(35)を構成する障壁層(40)の厚さ( $t_{21}$ ,  $t_{22}$ ,  $t_{23}$ ,  $t_{24}$ )がp型クラッド層(37)から離れるにしたがって順に厚くなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項3】 GaAs基板(1)と、n型クラッド層(3)と、p型クラッド層(7)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(5)を含む半導体レーザにおいて、前記n型クラッド層(3)と前記p型クラッド層(7)と前記多重量子井戸活性層(5)がAlGaAs系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(5)を構成する障壁層(14)の厚さ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ )がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に厚くなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項4】 InP基板(21)と、n型クラッド層(23)と、p型クラッド層(27)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(25)を含む半導体レーザにおいて、前記n型クラッド層(23)と前記p型クラッド層(27)がInPまたはAlInGaAs系材料で、また、前記多重量子井戸活性層(25)がAlInGaAs系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(25)を構成する障壁層(30)の厚さ( $t_{11}$ ,  $t_{12}$ ,  $t_{13}$ ,  $t_{14}$ )がn型クラッド層(23)から離れるにしたがって順に厚くなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項5】 InP基板(31)と、n型クラッド層(33)と、p型クラッド層(37)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(35)を含む半導体レーザにおいて、前記n型クラッド層(33)と前記p型クラッド層(37)と前記多重量子井戸活性層(35)がInGaAsP系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(35)を構成する障壁層(40)の厚さ( $t_{21}$ ,  $t_{22}$ ,  $t_{23}$ ,  $t_{24}$ )がp型クラッド層(37)から

離れるにしたがって順に厚くなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項6】 n型クラッド層(3)と、p型クラッド層(7)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(5)を含む半導体レーザにおいて、前記多重量子井戸活性層(5)を構成する障壁層(50)のエネルギーバンドギャップ( $E_{g1}$ ,  $E_{g2}$ ,  $E_{g3}$ ,  $E_{g4}$ )がそれぞれ異なっていることを特徴とする半導体レーザ。

10 【請求項7】 n型クラッド層(3)と、p型クラッド層(7)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(5)を含む半導体レーザにおいて、前記多重量子井戸活性層(5)を構成する障壁層(50)のエネルギーバンドギャップ( $E_{g1}$ ,  $E_{g2}$ ,  $E_{g3}$ ,  $E_{g4}$ )がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項8】 n型クラッド層(33)と、p型クラッド層(37)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(35)を含む半導体レーザにおいて、前記多重量子井戸活性層(35)を構成する障壁層(70)のエネルギーバンドギャップ( $E_{g21}$ ,  $E_{g22}$ ,  $E_{g23}$ ,  $E_{g24}$ )がp型クラッド層(37)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項9】 伝導帯側のバンドオフセット( $\Delta E_c$ )が価電子帯側のバンドオフセット( $\Delta E_v$ )よりも大きい材料で構成されていることを特徴とする請求項7に記載の半導体レーザ。

20 【請求項10】 価電子帯のバンドオフセット( $\Delta E_v$ )が伝導帯側のバンドオフセット( $\Delta E_c$ )よりも大きい材料で構成されていることを特徴とする請求項8に記載の半導体レーザ。

【請求項11】 基板(1)としてGaAsを用い、多重量子井戸活性層(5)がAlGaAs系材料で構成されていることを特徴とする請求項6～9のいずれか1項に記載の半導体レーザ。

【請求項12】 基板(21)としてInPを用い、多重量子井戸活性層(25)がAlInGaAs系材料で構成されていることを特徴とする請求項6～9のいずれか1項に記載の半導体レーザ。

【請求項13】 基板(31)としてInPを用い、多重量子井戸活性層(35)がInGaAsP系材料で構成されていることを特徴とする請求項6, 7, 8, 10のいずれか1項に記載の半導体レーザ。

【請求項14】 GaAs基板(1)と、n型クラッド層(3)と、p型クラッド層(7)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(5)を含む半導体レーザにおいて、

50 前記n型クラッド層(3)と前記p型クラッド層(7)

と前記多重量子井戸活性層(5)がAlGaAs系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(5)を構成する障壁層(50)のエネルギーバンドギャップ(Eg1, Eg2, Eg3, Eg4)がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項15】 InP基板(21)と、n型クラッド層(23)と、p型クラッド層(27)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(25)を含む半導体レーザにおいて、

前記n型クラッド層(23)と前記p型クラッド層(27)がInPまたはAlInGaAs系材料で、また、前記多重量子井戸活性層(25)がAlInGaAs系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(25)を構成する障壁層(60)のエネルギーバンドギャップ(Eg11, Eg12, Eg13, Eg14)がn型クラッド層(23)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項16】 InP基板(31)と、n型クラッド層(33)と、p型クラッド層(37)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(35)を含む半導体レーザにおいて、

前記n型クラッド層(33)と前記p型クラッド層(37)と前記多重量子井戸活性層(35)がInGaAsP系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(35)を構成する障壁層(70)のエネルギーバンドギャップ(Eg21, Eg22, Eg23, Eg24)がp型クラッド層(37)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項17】 n型クラッド層(3)と、p型クラッド層(7)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(5)を含む半導体レーザにおいて、

伝導帯側のバンドオフセット( $\Delta E_c$ )が価電子帯側のバンドオフセット( $\Delta E_v$ )よりも大きい材料系で構成されており、前記多重量子井戸活性層(5)を構成する障壁層(80)の厚さ(t31, t32, t33, t34)がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に大きくなっているとともに、障壁層(80)のエネルギーバンドギャップ(Eg31, Eg32, Eg33, Eg34)がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項18】 n型クラッド層(33)と、p型クラッド層(37)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(35)を含む半導体レーザにおいて、価電子帯側のバンドオフセット( $\Delta E_v$ )が伝導帯側のバンドオフセット( $\Delta E_c$ )よりも大きい材料系で構成されており、前記多重量子井戸活性層(35)を構成する障壁層(100)の厚さ(t51, t52, t53, t54)がp型クラッド層(37)から離れるにしたが

って順に大きくなっているとともに、障壁層(100)のエネルギーバンドギャップ(Eg51, Eg52, Eg53, Eg54)がp型クラッド層(37)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項19】 GaAs基板(1)と、n型クラッド層(3)と、p型クラッド層(7)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(5)を含む半導体レーザにおいて、

10 前記n型クラッド層(3)と前記p型クラッド層(7)と前記多重量子井戸活性層(5)がAlGaAs系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(5)を構成する障壁層(80)の厚さ(t31, t32, t33, t34)がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に厚くなるとともに、障壁層(80)のエネルギーバンドギャップ(Eg31, Eg32, Eg33, Eg34)がn型クラッド層(3)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

20 【請求項20】 InP基板(21)と、n型クラッド層(23)と、p型クラッド層(27)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(25)を含む半導体レーザにおいて、

前記n型クラッド層(23)と前記p型クラッド層(27)がInPまたはAlInGaAs系材料で、また、前記多重量子井戸活性層(25)がAlInGaAs系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(25)を構成する障壁層(90)の厚さ(t41, t42, t43, t44)がn型クラッド層(23)から離れるにしたがって順に厚くなるとともに、障壁層(90)のエネルギーバンドギャップ(Eg41, Eg42, Eg43, Eg44)がn型クラッド層(23)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項21】 InP基板(31)と、n型クラッド層(33)と、p型クラッド層(37)と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層(35)を含む半導体レーザにおいて、

30 前記n型クラッド層(33)と前記p型クラッド層(37)と前記多重量子井戸活性層(35)がInGaAsP系材料で構成されており、前記多重量子井戸活性層(35)を構成する障壁層(100)の厚さ(t51, t52, t53, t54)がp型クラッド層(37)から離れるにしたがって順に厚くなるとともに、障壁層(100)のエネルギーバンドギャップ(Eg51, Eg52, Eg53, Eg54)がp型クラッド層(37)から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項22】 前記多重量子井戸活性層の井戸数が5以上であることを特徴とする請求項1～21のいずれか



1項に記載の半導体レーザ。

【請求項23】 前記半導体活性層における発光領域のストライプ幅が $100\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1～22のいずれか1項に記載の半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体レーザに係り、例えば、ロボットの目やレーザレーダシステム等を構成する測距用あるいは、レーザ溶接等の加工用半導体レーザとして用いられる半導体レーザに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体レーザの発振しきい値電流を低減したり、発光効率を向上させる手段として、活性層を複数の量子井戸で構成する多重量子井戸構造(Multiple Quantum Well: MQW)が用いられている。この構造では、エネルギーバンドギャップの小さい井戸層とエネルギーバンドギャップの大きい障壁層を交互に積層して形成している。ここで、井戸層の厚さを $20\text{nm}$ 程度以下に薄くすると量子効果が現れる。上記MQW構造のレーザはこの量子効果を利用したレーザである。

【0003】 通常、これらMQW構造において、複数の井戸層及び障壁層の膜厚及びエネルギーバンドギャップは、例えば特開平7-221395号公報に開示されているように、井戸層同士、障壁層同士はそれぞれ同一にして形成している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 図17に、一般にSCH-MQW (SCH: Separate Confinement Heterostructure) と呼ばれる構造のエネルギーバンド図の一例を示す。キャリアである電子と正孔はそれぞれ、電子はn型クラッド層側から、正孔はp型クラッド層側からMQW活性層内に注入される。注入された電子及び正孔はMQW活性層内の井戸層で再結合することによって発光し、レーザ光となる。したがって、効率の良いレーザ特性を得るためには、効率良く電子と正孔を再結合させる必要がある。しかしながら、半導体レーザは通常pn接合のダイオード構造となっているため、電子と正孔の注入方向が逆方向となっている。すなわち、電子はn型クラッド層側から注入されるのに対し、正孔はp型クラッド層側から注入される。したがって、活性層がMQW構造の場合には、図17において、MQW活性層におけるn-光ガイド層と接する位置 $x=0$ からp-光ガイド層と接する位置 $x=1$ においてキャリア密度としては図18のようになる。この図18に示すように電子はn型層側に偏った分布となり、また、正孔はp型層側に偏った分布になるため、電子-正孔間の再結合速度は図19に示すように活性層内で均一ではなく、ある位置で最大となる不均一な分布となる。このような分布の不均一性はレーザ特性を低下させる原因となる。また、分布の形状

はバンドオフセット(伝導帯側:  $\Delta E_c$ 、価電子帯側  $\Delta E_v$ )の大小関係によって変わってくるため、材料に応じて適切に設計する必要がある。

【0005】 そこで、この発明の目的は、キャリア密度分布の均一性を向上させて、しきい値電流が低く高効率なレーザを得ることができる半導体レーザを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】 請求項1の発明では、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きい材料( $\Delta E_c > \Delta E_v$ )で構成されている。このような材料系では、伝導帯側のポテンシャル障壁が高いため、伝導帯側のキャリア、すなわち、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、電子が効率良く注入されるように、n型クラッド層側の障壁層の厚さを薄くし、徐々に厚くしていくことによって電子がp型クラッド層側へ注入され易くしている。この結果、電子のキャリア密度分布の均一性がさらに向上し、その結果より効果的にしきい値電流を低くし、高効率のレーザを得ることができる。

【0007】 請求項2の発明では、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、価電子帯側のバンドオフセットが伝導帯側のバンドオフセットよりも大きい材料( $\Delta E_c < \Delta E_v$ )で構成されている。このような材料系では、価電子帯側のポテンシャル障壁が高いため、価電子帯側のキャリア、すなわち、正孔の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、正孔が効率良く注入されるように、p型クラッド層側の障壁層の厚さを薄くし、徐々に厚くしていくことによって正孔がn型クラッド層側へ注入され易くしている。この結果、正孔のキャリア密度分布の均一性がさらに向上し、その結果より効果的にしきい値電流を低くし、高効率のレーザを得ることができる。

【0008】 請求項3の発明では、GaAs基板上に多重量子井戸活性層がAlGaAs系材料で構成されている。この材料では、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きくなっているため、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さがn型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成することにより電子については、n型クラッド層に近い障壁層が薄いためトンネリングし易くなる(通り抜けやすくなる)。その結果、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることがで



きる。

【0009】請求項4の発明では、InP基板上に多重量子井戸活性層がAlInGaAs系材料で構成されている。この材料系では、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きくなっている。したがって、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さがn型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成することにより、請求項3と同様の作用及び効果を得ることができる。

【0010】請求項5の発明では、InP基板上に多重量子井戸活性層がInGaAsP系材料で構成されている。この材料系では、価電子帯側のバンドオフセットが伝導帯側のバンドオフセットよりも大きくなっているため、正孔の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さがp型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成することにより正孔については、p型クラッド層に近い障壁層が薄いためトンネリングし易くなる（通り抜けやすくなる）。その結果、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0011】請求項6の発明では、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、多重量子井戸活性層を構成する障壁層のエネルギーバンドギャップがそれぞれ異なっている構造としている。したがって、構成材料に応じて電子及び正孔のキャリア密度の分布が均一になるように伝導帯側及び価電子帯側それぞれに適切に設計することができるため、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0012】請求項7の発明では、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、多重量子井戸活性層を構成する障壁層のエネルギーバンドギャップがn型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴としている。電子については、n型クラッド層に近い障壁層のエネルギーバンドギャップが小さいため、隣の井戸層へ注入され易くなる。したがって、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0013】請求項8の発明では、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、多重量子井戸活性層を構成する障壁層のエネルギーバンドギャップがp型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくなっていることを特徴としている。正孔については、p型クラッド層

に近い障壁層のエネルギーバンドギャップが小さいため、隣の井戸層へ注入され易くなる。したがって、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0014】請求項9の発明では、請求項7に記載の発明において、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きい材料で構成されている。このような材料系では、伝導帯側のポテンシャル障壁が高いため、伝導帯側のキャリア、すなわち、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、電子が効率良く注入されるように、n型クラッド層に近い側の障壁層のエネルギーバンドギャップを小さくし、徐々に大きくしていくことによって電子をp型クラッド層側へ注入し易くしている。この結果、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することにより電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0015】請求項10の発明では、請求項8に記載の発明において、価電子帯側のバンドオフセットが伝導帯側のバンドオフセットよりも大きい材料で構成されている。このような材料系では、価電子帯側のポテンシャル障壁が高いため、価電子帯側のキャリア、すなわち、正孔の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、正孔が効率良く注入されるように、p型クラッド層に近い側の障壁層のエネルギーバンドギャップを小さくし、徐々に大きくしていくことによって正孔をn型クラッド層側へ注入し易くしている。この結果、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上することにより電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0016】請求項11の発明では、請求項6～9に記載の半導体レーザにおいて、基板としてGaAsを用い、多重量子井戸活性層がAlGaAs系材料で構成されているため、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きくなっている。この材料構成では電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層のそれぞれの障壁層のエネルギーバンドギャップを変えることにより、主として電子のキャリア密度分布をより均一に近い分布とすることができ、その結果しきい値電流の低い高効率のレーザを得ることができる。

【0017】請求項12の発明では、請求項6～9に記載の半導体レーザにおいて、基板としてInPを用い、多重量子井戸活性層がAlInGaAs系材料で構成されているため、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きくなっている。この材

料構成では電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層のそれぞれの障壁層のエネルギーバンドギャップを変えることにより、主として電子のキャリア密度分布をより均一に近い分布とすることができ、その結果しきい値電流の低い高効率のレーザを得ることができる。

【0018】請求項13の発明では、請求項6、7、8、10に記載の半導体レーザにおいて、基板としてInPを用い、多重量子井戸活性層がInGaAsP系材料で構成されているため、価電子帯側のバンドオフセットが伝導帯側のバンドオフセットよりも大きくなっている。この材料構成では正孔の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層のそれぞれの障壁層のエネルギーバンドギャップを変えることにより、主として正孔のキャリア密度分布をより均一に近い分布とすることができ、その結果しきい値電流の低い高効率のレーザを得ることができる。

【0019】請求項14の発明では、GaAs基板上に多重量子井戸活性層がAlGaAs系材料で構成されている。この材料系では、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きくなっているため、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層を構成する障壁層のエネルギーバンドギャップがn型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくなるようにすることにより電子については、n型クラッド層に近い障壁層のエネルギーバンドギャップが小さいため、隣の井戸層へ注入され易い。その結果、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0020】請求項15の発明では、InP基板上に多重量子井戸活性層がAlInGaAs系材料で構成されている。この材料系では、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きくなっているため、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層を構成する障壁層のエネルギーバンドギャップがn型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくなるようにすることにより、請求項14と同様の作用及び効果を得ることができる。

【0021】請求項16の発明では、InP基板上に多重量子井戸活性層がInGaAsP系材料で構成されている。この材料系では、価電子帯側のバンドオフセットが伝導帯側のバンドオフセットよりも大きくなっているため、正孔の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層を構成する障壁層のエネルギーバンドギャップがp型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくなるように

することにより正孔については、p型クラッド層に近い障壁層のエネルギーバンドギャップが小さいため、隣の井戸層へ注入され易くなる。その結果、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0022】請求項17の発明では、請求項1に記載の発明と請求項7に記載の発明の両方の効果を狙ったものである。すなわち、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、伝導帯側のバンドオフセットが価電子帯側のバンドオフセットよりも大きい材料系で構成されており、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さをn型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成するとともに、障壁層のエネルギーバンドギャップをn型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくしている。この材料構成では伝導帯側のポテンシャル障壁が高いため、伝導帯側のキャリア、すなわち、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。そこで、上述したように多重量子井戸活性層の障壁層の厚さとエネルギーバンドギャップの両方を変えることにより、電子について隣の井戸層への注入がより効果的に行われる。その結果、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0023】請求項18の発明では、請求項2に記載の発明と請求項8に記載の発明の両方の効果を狙ったものである。すなわち、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、価電子帯側のバンドオフセットが伝導帯側のバンドオフセットよりも大きい材料系で構成されており、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さをp型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成するとともに、障壁層のエネルギーバンドギャップをp型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくしている。この材料構成では価電子帯側のポテンシャル障壁が高いため、価電子帯側のキャリア、すなわち、正孔の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。そこで、上述したように多重量子井戸活性層の障壁層の厚さとエネルギーバンドギャップの両方を変えることにより、正孔について隣の井戸層への注入がより効果的に行われる。その結果、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0024】請求項19の発明では、請求項3に記載の発明と請求項14に記載の発明の両方の効果を狙ったものである。すなわち、GaAs基板と、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸



活性層を含む半導体レーザにおいて、n型クラッド層とp型クラッド層と多重量子井戸活性層がAlGaAs系材料で構成されており、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さをn型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成するとともに、障壁層のエネルギーバンドギャップをn型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくしている。この材料構成では伝導帯側のポテンシャル障壁が高いため、伝導帯側のキャリア、すなわち、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。そこで、上述したように多重量子井戸活性層の障壁層の厚さとエネルギーバンドギャップの両方を変えることにより、電子について隣の井戸層への注入がより効果的に行われる。その結果、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0025】請求項20の発明では、請求項4に記載の発明と請求項15に記載の発明の両方の効果を狙ったものである。すなわち、InP基板と、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、n型クラッド層とp型クラッド層がInPまたはAlInGaAs系材料で、また、多重量子井戸活性層がAlInGaAs系材料で構成されており、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さをn型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成するとともに、障壁層のエネルギーバンドギャップをn型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくしている。この材料構成では伝導帯側のポテンシャル障壁が高いため、伝導帯側のキャリア、すなわち、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっている。そこで、上述したように多重量子井戸活性層の障壁層の厚さとエネルギーバンドギャップの両方を変えることにより、電子について隣の井戸層への注入がより効果的に行われる。その結果、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0026】請求項21の発明では、請求項5に記載の発明と請求項16に記載の発明の両方の効果を狙ったものである。すなわち、InP基板と、n型クラッド層と、p型クラッド層と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層を含む半導体レーザにおいて、n型クラッド層とp型クラッド層と多重量子井戸活性層がInGaAsP系材料で構成されており、多重量子井戸活性層を構成する障壁層の厚さをp型クラッド層から離れるにしたがって順に厚く形成するとともに、障壁層のエネルギーバンドギャップをp型クラッド層から離れるにしたがって順に大きくしている。この材料構成では価電子帯側のポテンシャル障壁が高いため、価電子帯側のキャリア、すなわち、正孔の方が多重量子井戸活性層内に注入されにく

い構造となっている。そこで、上述したように多重量子井戸活性層の障壁層の厚さとエネルギーバンドギャップの両方を変えることにより、正孔について隣の井戸層への注入がより効果的に行われる。その結果、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0027】請求項22の発明では、請求項1~21のいずれかに記載の半導体レーザにおいて、多重量子井戸活性層の井戸数を5以上としている。したがって、大電流駆動時においても多重量子井戸活性層内に注入されたキャリアがオーバーフローすることなく大出力の半導体レーザを得ることができる。

【0028】請求項23の発明では、請求項1~22のいずれかに記載の半導体レーザにおいて、半導体活性層の発光領域のストライプ幅を100μm以上としているため、数十Aのパルス電流によって、数十Wクラスの大出力半導体レーザを得ることができる。

【0029】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）以下、この発明を具体化した第1の実施の形態を図面に基づいて説明する。

【0030】図1に、本実施形態における大出力半導体レーザの断面構造を示す。また、図2に、本実施形態の大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。

【0031】図1において、n-GaAs基板1上にn-GaAsバッファ層2、n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層3、n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As光ガイド層4、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As/GaAs多重量子井戸構造からなる活性層5、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As光ガイド層6、p-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層7、p-GaAsキャップ層8が順に積層されている。活性層5は、図2に示すようにAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>AsとGaAsとが交互に積層され、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asが4層、GaAsが5層形成されている。この場合、エネルギーバンドギャップの小さいGaAsが井戸層13となり、エネルギーバンドギャップの大きいAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asが障壁層14となる。また、図1において、n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層3とn-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As光ガイド層4とMQW活性層5とp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As光ガイド層6とp-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層7とp-GaAsキャップ層8はメサ形となっている。このメサ部及びn-GaAsバッファ層2の上面には絶縁膜9が形成されるとともに、絶縁膜9におけるメサ部の上面（p-GaAsキャップ層8の上面）には窓部9aが形成されている。この窓部9aを含めた絶縁膜9の上には、Cr/Pt/Auからなるp型電極10が形成されている。

【0032】n-GaAsバッファ層2の厚さは500



nm、 $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  クラッド層3の厚さは1  $\mu\text{m}$ 、 $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  光ガイド層4の厚さは1  $\mu\text{m}$ である。

【0033】また、活性層5においては、図2に示すように、障壁層14である $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ の厚さ $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ は $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  クラッド層3から離れるにしたがって順に $t_1=3\text{nm}$ 、 $t_2=4\text{nm}$ 、 $t_3=5\text{nm}$ 、 $t_4=6\text{nm}$ と1nmずつ厚く形成している。また、活性層5におけるGaAs井戸層13の厚さについては各々12nmであり、一層の厚さは一定である。したがって、活性層5のトータルの厚さは78nmとなっている。

【0034】さらに、図1の $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  光ガイド層6の厚さは1  $\mu\text{m}$ 、 $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  クラッド層7の厚さは1  $\mu\text{m}$ 、 $p\text{-GaAs}$  キャップ層8の厚さは0.8  $\mu\text{m}$ である。

【0035】一方、 $n\text{-GaAs}$  基板1の裏面にはAuGe/Ni/Auからなるn型電極11が形成され、 $n\text{-GaAs}$  基板1とオーミックコンタクトが取られている。このn型電極11の表面には接合材としてのAu/Sn層12が形成されており、これによって半導体レーザ素子と図示しないCu又はFe製の台座が接合される。

【0036】次に、この大出力半導体レーザの製造方法を説明する。まず、図1での $n\text{-GaAs}$  基板1上にMBE (Molecular Beam Epitaxy) 法やMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法等により $n\text{-GaAs}$  バッファ層2、 $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  クラッド層3、 $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  光ガイド層4、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}/\text{GaAs}$  多重量子井戸構造からなる活性層5、 $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  光ガイド層6、 $p\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  クラッド層7、 $p\text{-GaAs}$  キャップ層8を順次積層する。その後、エッチングによりメサ部を形成する。

【0037】引き続き、 $n\text{-GaAs}$  バッファ層2及びメサ部の上面に $\text{SiO}_2$ からなる絶縁膜9をプラズマCVD法により成膜し、エッチングにより窓あけして窓部9aを形成する。この窓部9aの幅がストライプ幅(活性層における発光領域のストライプ幅)となる。その後、絶縁膜9上に、Cr/Pt/Au(膜厚15nm/300nm/600nm)からなるp型電極10を電子ビーム蒸着法により形成し、約360℃において熱処理\*

$$D_e(x) = 1/\alpha_e \cdot [1 - \exp(-\alpha_e)] * \exp[-\alpha_e x] \quad \dots (1)$$

$$D_h(x) = 1/\alpha_h \cdot [1 - \exp(-\alpha_h)] * \exp[-\alpha_h (1-x)] \quad \dots (2)$$

ただし、 $\alpha_e$ は電子密度の減衰係数、 $\alpha_h$ は正孔密度の減衰係数である。

【0043】また、電子-正孔間の再結合速度は上記

(1)、(2)式で計算される電子及び正孔の密度のう

\*を行いオーミックコンタクトを取る。p型電極10の材料としては他にTi/Pt/Au等を用いてもよい。

【0038】さらに、 $n\text{-GaAs}$  基板1の裏面にAuGe/Ni/Auからなるn型電極11を電子ビーム蒸着法により形成し、熱処理を行いオーミック電極を取る。その後、Au/Sn層12を電子ビーム蒸着法により形成する。最後に、端面を劈開して半導体レーザチップとする。

【0039】この大出力半導体レーザ(半導体レーザチップ)の縦横の寸法は500  $\mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$ であり、ストライプ幅は400  $\mu\text{m}$ である。なお、数十Wクラスの大出力半導体レーザでは、大出力を得るため、素子に電流を流すための電極のストライプ幅が少なくとも100  $\mu\text{m}$ 以上必要である。

【0040】本実施形態では多重量子井戸活性層5がAlGaAs系材料で構成されている。つまり、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ において井戸層13が $x=0$ のGaAsであり、障壁層14が $x=0.2$ の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ である。そのため、図2で示すように伝導帯側のバンドオフセット $\Delta E_c$ が価電子帯側のバンドオフセット $\Delta E_v$ よりも大きくなっている。したがって、伝導帯側のポテンシャル障壁が高く電子の方がMQW内に注入されにくい構造であるため、MQW内の障壁層14の厚さ $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ が $n\text{-AlGaAs}$  クラッド層3から離れるにしたがって順に厚く形成することによって( $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ )、電子が効率良く注入でき(電子がp型クラッド層7側へ注入され易く)、より均一に近い分布とすることができる。即ち、電子についてはn型クラッド層3に近い障壁層が薄いためトンネリングし易くなり(通り抜けやすくなり)、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上する。その結果、電子と正孔の再結合速度は均一に近い分布となり、低しきい値電流で高効率のレーザを得ることができる。

【0041】電子及び正孔のキャリア密度分布のシミュレーション結果を図3に、再結合速度分布のシミュレーション結果を図4に示す。図3、4における横軸は活性層内の位置 $x$ (図2参照)であり、 $n$ -光ガイド層4と接する位置を $x=0$ とし、 $p$ -光ガイド層6と接する位置を $x=1$ としている。

【0042】なお、シミュレーションは電子及び正孔のキャリア密度をそれぞれ $D_e(x)$ 、 $D_h(x)$ として次式のように簡略化したモデルで計算した。

ち小さい方によって制限されるとして計算した。ここで、計算のパラメータ $\alpha_e$ 及び $\alpha_h$ を変化させることで電子及び正孔の注入のされ易さを定量的に表現することができる(本計算では $\alpha_e = \alpha_h = 0.2$ とし、電子のキャ

リア注入が正孔のキャリア注入と同じであると仮定している)。

【0044】図3、4に示すシミュレーション結果から、MQW活性層において障壁層の厚さを順に変化させて形成することによって以下の効果を奏することが確認できた。

【0045】まず、図3と図18を比較する。図18は図17のごとく障壁層の厚さを一定とした場合におけるシミュレーション結果である。図18に比べ図3は電子及び正孔のキャリア密度分布が均一に近くなる。次に、図4と図19を比較する。図19は図17のごとく障壁層の厚さを一定とした場合におけるシミュレーション結果である。図19に比べ図4は電子-正孔間の再結合速度分布が均一化している。その結果、本実施形態の構造をレーザ素子として適用した場合、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができることとなる。

【0046】さらに、ストライプ長を $100\mu\text{m}$ 以上とすることによって数十Aのパルス電流において数十Wクラスのレーザ光を得ることができる。以上詳述したように本実施形態によれば、電子及び正孔の密度分布を材料特有のバンドオフセットに応じて均一な分布になるようにすることでMQW活性層内でのキャリアの再結合速度分布を均一にできる。したがって、本構造を半導体レーザに適用した場合、低しきい値電流で高効率のレーザ特性を得ることができる。

【0047】また、多重量子井戸活性層の井戸数を5以上とすることにより、大電流駆動時においても多重量子井戸活性層内に注入されたキャリアがオーバーフローすることなく大出力の半導体レーザを得ることができる。さらに、前にも述べたが半導体活性層の発光領域のストライプ幅を $100\mu\text{m}$ 以上とすることにより、数十Aのパルス電流によって、数十Wクラスの大出力半導体レーザを得ることができる。

(第2の実施の形態) 次に、第2の実施の形態を、第1の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0048】図5に、本実施形態における大出力半導体レーザの断面図を示す。また、図6に、本実施形態の大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。

【0049】図5において、 $n\text{-InP}$ 基板21上に $n\text{-InP}$ バッファ層22、 $n\text{-InP}$ クラッド層23、 $n\text{-Al}_{0.23}\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.24}\text{As}$ 光ガイド層24、 $\text{AlInGaAs}$ 多重量子井戸構造からなる活性層25、 $p\text{-Al}_{0.23}\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.24}\text{As}$ 光ガイド層26、 $p\text{-InP}$ クラッド層27、 $p\text{-InGaAs}$ キャップ層28が順に積層されている。なお、 $n$ 型クラッド層23と $p$ 型クラッド層27は $\text{AlInGaAs}$ 系材料を用いてもよい。活性層25は、図6に示すように $\text{AlInGaAs}$ 井戸層29と $\text{AlInGaAs}$ 障壁層30とが交互に配置されている。具体的な組成は、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}$

$_{1-x-y}\text{As}$ において、井戸層29は $x=0$ 、 $y=0.53$ であり、障壁層30は $x=0.23$ 、 $y=0.53$ である。

【0050】このように、 $\text{InP}$ 基板21と、 $n$ 型クラッド層23と、 $p$ 型クラッド層27と、井戸数が2以上の多重量子井戸活性層25を含む半導体レーザであり、 $n$ 型クラッド層23と $p$ 型クラッド層27が $\text{InP}$ (または $\text{AlInGaAs}$ )系材料で、また、多重量子井戸活性層25が $\text{AlInGaAs}$ 系材料( $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$ )で構成されている。そして、多重量子井戸活性層25を構成する障壁層30の厚さ $t_{11}$ 、 $t_{12}$ 、 $t_{13}$ 、 $t_{14}$ が $n$ 型クラッド層23から離れるにしたがって順に厚くなっている( $t_{11} < t_{12} < t_{13} < t_{14}$ )。

【0051】以上のごとく、 $\text{InP}$ 基板21上に多重量子井戸活性層25として $\text{AlInGaAs}$ 系材料を用いた本実施形態の半導体レーザにおいては、伝導帯側のバンドオフセット $\Delta E_c$ が価電子帯側のバンドオフセット $\Delta E_v$ よりも大きくなっており、多重量子井戸活性層25を構成する障壁層30の厚さを $n$ 型クラッド層23から離れるにしたがって順に厚く形成することにより、第1の実施形態と同様の作用及び効果を得ることができる。

(第3の実施の形態) 次に、第3の実施の形態を、第1の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0052】図7に、本実施形態における大出力半導体レーザの断面図を示す。また、図8に、本実施形態の大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。

【0053】 $n\text{-InP}$ 基板31上に $n\text{-InP}$ バッファ層32、 $n\text{-InP}$ クラッド層33、エネルギーバンドギャップ $E_g=1.05\text{eV}$ となる組成の $n\text{-InGaAsP}$ 光ガイド層34、 $\text{InGaAsP}/\text{InGaAs}$ 多重量子井戸構造からなる活性層35、エネルギーバンドギャップ $E_g=1.05\text{eV}$ となる組成の $p\text{-InGaAsP}$ 光ガイド層36、 $p\text{-InP}$ クラッド層37、 $p\text{-InGaAs}$ キャップ層38が順に積層されている。活性層35は、エネルギーバンドギャップ $E_g=1.05\text{eV}$ となる組成の $\text{InGaAsP}$ と、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ とが交互に積層され、 $\text{InGaAsP}$ が4層、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ が5層形成されている。この場合、エネルギーバンドギャップの小さい $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ ( $E_g=0.75\text{eV}$ )が井戸層39となり、エネルギーバンドギャップの大きい $\text{InGaAsP}$ ( $E_g=1.05\text{eV}$ )が障壁層40となる。また、 $n\text{-InP}$ クラッド層33、 $n\text{-InGaAsP}$ 光ガイド層34、MQW活性層35、 $p\text{-InGaAsP}$ 光ガイド層36、 $p\text{-InP}$ クラッド層37、 $p\text{-InGaAs}$ キャップ層38はメサ形となっている。

【0054】 $n\text{-InP}$ バッファ層32の厚さは $500$



nm、n-InPクラッド層33の厚さは1 $\mu$ m、n-InGaAsP光ガイド層34の厚さは1 $\mu$ mである。また、活性層35においては、障壁層40であるInGaAsPの厚さt21、t22、t23、t24がp-InPクラッド層37から離れるにしたがって順にt21=3nm、t22=4nm、t23=5nm、t24=6nmと1nmずつ厚く形成している。また、活性層35におけるInGaAs井戸層39の厚さは各々12nmであり、一層の厚さは一定である。したがって、活性層35のトータルの厚さは78nmとなっている。

【0055】p-InGaAsP光ガイド層36の厚さは1 $\mu$ m、p-InPクラッド層37の厚さは1 $\mu$ m、p-InGaAsキャップ層38の厚さは0.8 $\mu$ mである。

【0056】n-InP基板31の裏面にはAuGe/Ni/Auからなるn型電極11が形成され、n-InP基板31とオーミックコンタクトが取られている。このn型電極11の表面には接合材としてのAu/Sn層12が形成されており、これによって半導体レーザ素子と図示しないCu又はFe製の台座が接合される。

【0057】この大出力半導体レーザの縦横の寸法は500 $\mu$ m $\times$ 800 $\mu$ mであり、ストライプ幅は400 $\mu$ mである。なお、数十Wクラスの大出力半導体レーザでは、大出力を得るため、素子に電流を流すための電極のストライプ幅が少なくとも100 $\mu$ m以上必要である。

【0058】本実施形態では多重量子井戸活性層がInGaAsP系材料で構成されている。つまり、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub>において井戸層39がx=0.53、y=1のIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asであり、障壁層40がx=0.79、y=0.45のInGaAsPである。そのため、価電子帯側のバンドオフセット $\Delta E_v$ が伝導帯側のバンドオフセット $\Delta E_c$ よりも大きくなっている

( $\Delta E_c < \Delta E_v$ )。したがって、価電子帯側のキャリア、すなわち、正孔の方がMQW内に注入されにくい構造であるため、MQW内の障壁層40の厚さt21、t22、t23、t24がp-InPクラッド層37から離れるにしたがって順に厚く形成することによって(t21<t22<t23<t24)、正孔が効率良く注入でき(正孔がn型クラッド層33側へ注入され易く)、正孔のキャリア密度分布をより均一に近い分布とすることができる。即ち、正孔についてはp型クラッド層37に近い障壁層が薄いためトンネリングし易くなり(通り抜けやすくなり)、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上する。その結果、電子と正孔の再結合速度は均一に近い分布となり、低しきい値電流で高効率のレーザを得ることができる。

【0059】つまり、本実施形態においても第1実施形態と同様にキャリア密度分布、再結合速度をシミュレーションすると図3及び図4に示す結果となり、再結合速度が均一に近い分布となることがわかる。その結果、低

しきい値電流で高効率のレーザを得ることができる。

【0060】さらに、ストライプ長を100 $\mu$ m以上とすることによって数十Aのパルス電流において数十Wクラスのレーザ光を得ることができる。

(第4の実施の形態) 次に、第4の実施の形態を、第1の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0061】図9に、本実施形態における大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。本実施形態では、多重量子井戸活性層5において、障壁層50であるAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>AsのAl組成比xがn-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層3から離れるにしたがって順にx=0.04、0.08、0.12、0.16と0.04ずつ大きくなるように形成している。この時、障壁層50の厚さは4nmで一定としている。このようにAl組成比を変えることで障壁層50のエネルギーバンドギャップEg1、Eg2、Eg3、Eg4が図9のように順に変化するような構成としている。つまり、障壁層50のエネルギーバンドギャップEg1、Eg2、Eg3、Eg4がn型クラッド層3から離れるにしたがって順に大きくなっている(Eg1<Eg2<Eg3<Eg4)。その他の構成、膜厚は第1の実施形態と同一である。

【0062】このような構成においても第1実施形態と同様の効果を得ることができる。すなわち、本構成においても伝導帯側のバンドオフセット $\Delta E_c$ が価電子帯側のバンドオフセット $\Delta E_v$ よりも大きい材料で構成されているため伝導帯側のポテンシャル障壁が高く、電子の方がMQW活性層内に注入されにくい材料構成となっている。したがって、本実施形態ではn型クラッド層3に近い側の障壁層50のエネルギーバンドギャップを小さくし、徐々に大きくしていくことによって電子をp型クラッド層7側へ注入し易くしている。即ち、電子が効率良く注入されるように、n型クラッド層3に近い側の障壁層のエネルギーバンドギャップを小さくし、徐々に大きくしていくことによって電子をp型クラッド層7側へ注入し易くしている。この結果、第1実施形態と同様に主として活性層5内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することにより電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

(第5の実施の形態) 次に、第5の実施の形態を、第2の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0063】図10に、本実施形態における大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。n型クラッド層23とp型クラッド層27がInP(またはAlInGaAs)系材料で、また、多重量子井戸活性層25がAlInGaAs系材料で構成されており、多重量子井戸活性層25を構成する障壁層60のエネルギーバンドギャップEg11、Eg12、Eg13、Eg14がn型クラッド層23から離れるにしたがって順



に大きくなっている ( $E_{g11} < E_{g12} < E_{g13} < E_{g14}$ )。

【0064】このように本実施形態においても、伝導帯側のバンドオフセット  $\Delta E_c$  が価電子帯側のバンドオフセット  $\Delta E_v$  よりも大きくなっており、電子の方が多重量子井戸活性層 25 内に注入されにくい構造となっている。したがって、多重量子井戸活性層 25 のそれぞれの障壁層 60 のエネルギーバンドギャップを変えることにより ( $E_{g11} < E_{g12} < E_{g13} < E_{g14}$ )、主として電子のキャリア密度分布をより均一に近い分布とすることができ、その結果しきい値電流の低い高効率のレーザを得ることができる。

(第6の実施の形態) 次に、第6の実施の形態を、第3の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0065】図11に、本実施形態における大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。本実施形態では、多重量子井戸活性層 35 において、障壁層 70 である  $InGaAsP$  のエネルギーバンドギャップ  $E_{g21}$ ,  $E_{g22}$ ,  $E_{g23}$ ,  $E_{g24}$  が  $p-InP$  クラッド層 37 から離れるにしたがって順に  $E_{g21} = 0.81 \text{ eV}$ ,  $E_{g22} = 0.87 \text{ eV}$ ,  $E_{g23} = 0.93 \text{ eV}$ ,  $E_{g24} = 0.99 \text{ eV}$  と  $0.06 \text{ eV}$  ずつ大きくなるように形成している。この時、障壁層 70 の厚さは  $4 \text{ nm}$  で一定としている。このように  $InGaAsP$  の組成を変えることで障壁層 70 のエネルギーバンドギャップが図11のように順に変化するような構成としている ( $E_{g21} < E_{g22} < E_{g23} < E_{g24}$ )。その他の構成、膜厚は第3実施形態と同一である。

【0066】このような構成においても第3実施形態と同様の効果を得ることができる。すなわち、本構成においても価電子帯側のバンドオフセット  $\Delta E_v$  が伝導帯側のバンドオフセット  $\Delta E_c$  よりも大きい材料で構成されているため価電子帯側のポテンシャル障壁が高く、正孔の方がMQW活性層内に注入されにくい材料構成となっている。したがって、本実施形態では  $p$  型クラッド層 37 に近い側の障壁層 70 のエネルギーバンドギャップを小さくし、徐々に大きくしていくことによって正孔を  $n$  型クラッド層 33 側へ注入し易くしている。即ち、正孔が効率良く注入されるように、 $p$  型クラッド層 37 に近い側の障壁層のエネルギーバンドギャップを小さくし、徐々に大きくしていくことによって正孔を  $n$  型クラッド層 33 側へ注入し易くしている。この結果、第3実施形態と同様に、主として活性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性が向上することにより電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

(第7の実施の形態) 次に、第7の実施の形態を、第1および第4の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0067】図12に、本実施形態における大出力半導

体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。本実施形態では、第1実施形態と第4実施形態を組み合わせた構成としている。すなわち、MQW活性層 5 において、障壁層 80 である  $Al_xGa_{1-x}As$  の厚さ  $t_{31}$ ,  $t_{32}$ ,  $t_{33}$ ,  $t_{34}$  が  $n-Al_{0.4}Ga_{0.6}As$  クラッド層 3 から離れるにしたがって順に  $t_{31} = 3 \text{ nm}$ ,  $t_{32} = 4 \text{ nm}$ ,  $t_{33} = 5 \text{ nm}$ ,  $t_{34} = 6 \text{ nm}$  と  $1 \text{ nm}$  ずつ厚く形成している。同時に、 $Al$  組成比  $x$  が  $n-AlGaAs$  クラッド層 3 から離れるにしたがって順に  $x = 0.04, 0.08, 0.12, 0.16$  と  $0.04$  ずつ大きくなるように形成しており、障壁層 80 のエネルギーバンドギャップ  $E_{g31}$ ,  $E_{g32}$ ,  $E_{g33}$ ,  $E_{g34}$  が  $n$  型クラッド層 3 から離れるにしたがって順に大きくなっている ( $E_{g31} < E_{g32} < E_{g33} < E_{g34}$ )。このように障壁層 80 の厚さと  $Al$  組成比を同時に変えることで図12のごとく障壁層 80 の厚さ  $t_{31} \sim t_{34}$  とエネルギーバンドギャップ  $E_{g31} \sim E_{g34}$  が順に変化するような構成としている。その他の構成、膜厚は第1実施形態と同一である。

【0068】このような構成においては、第1実施形態と第4実施形態の効果を同時に得ることができるため、その効果を増大させることができる。すなわち、本構成においても伝導帯側のバンドオフセット  $\Delta E_c$  が価電子帯側のバンドオフセット  $\Delta E_v$  よりも大きい材料で構成されているため伝導帯側のポテンシャル障壁が高く、電子の方がMQW活性層内に注入されにくい材料構成となっている。

【0069】したがって、本実施形態では  $n$  型クラッド層 3 に近い側の障壁層 80 の膜厚を薄くしかつエネルギーバンドギャップを小さくしているため、電子をより  $p$  型クラッド層 7 側へ注入し易くしている。即ち、電子について隣の井戸層への注入がより効果的に行われるようにしている。この結果、第1実施形態及び第4実施形態をそれぞれ単独で実施した場合と比較し、図13に示すように図3に比べ活性層内のキャリア密度分布の均一性をさらに向上させることができる。これによって、図14に示すように図4に比べ電子-正孔間の再結合速度分布の均一性がさらに向上し、しきい値電流がさらに低く、より高効率のレーザを得ることができるようになる。

(第8の実施の形態) 次に、第8の実施の形態を、第2および第5の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0070】図15に、本実施形態における大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。本実施形態では、第2実施形態と第5実施形態を組み合わせた構成としている。すなわち、 $n$  型クラッド層 23 と  $p$  型クラッド層 27 が  $InP$  (または  $AlInGaAs$ ) 系材料で、また、多重量子井戸活性層 25 が  $AlInGaAs$  系材料で構成されており、多重量子井戸活性層 25 を構成する障壁層 90 の厚さ  $t_{41}$ ,  $t_{42}$ ,  $t$

43,  $t_{44}$ がn型クラッド層23から離れるにしたがって順に厚くなるとともに( $t_{41} < t_{42} < t_{43} < t_{44}$ )、障壁層90のエネルギーバンドギャップ $E_{g41}$ ,  $E_{g42}$ ,  $E_{g43}$ ,  $E_{g44}$ がn型クラッド層23から離れるにしたがって順に大きくなっている( $E_{g41} < E_{g42} < E_{g43} < E_{g44}$ )。

【0071】このように本実施形態では、伝導帯側のポテンシャル障壁が高いため、伝導帯側のキャリア、すなわち、電子の方が多重量子井戸活性層内に注入されにくい構造となっており、多重量子井戸活性層の障壁層の厚さとエネルギーバンドギャップの両方を変えることにより、電子について隣の井戸層への注入がより効果的に行われる。その結果、主として活性層内の電子のキャリア密度分布の均一性が向上することで電子-正孔間の再結合速度分布の均一性が向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

(第9の実施の形態)次に、第9の実施の形態を、第3および第6の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0072】図16に、本実施形態における大出力半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図を示す。本実施形態では、第3実施形態と第6実施形態を組み合わせた構成としている。すなわち、MQW活性層35において、InGaAsP障壁層100の厚さ $t_{51}$ ,  $t_{52}$ ,  $t_{53}$ ,  $t_{54}$ がp-InPクラッド層37から離れるにしたがって順に $t_{51} = 3\text{ nm}$ ,  $t_{52} = 4\text{ nm}$ ,  $t_{53} = 5\text{ nm}$ ,  $t_{54} = 6\text{ nm}$ と1nmずつ厚く形成するとともに、InGaAsP障壁層100のエネルギーバンドギャップ $E_{g51}$ ,  $E_{g52}$ ,  $E_{g53}$ ,  $E_{g54}$ がp-InPクラッド層37から離れるにしたがって順に $E_{g51} = 0.81\text{ eV}$ ,  $E_{g52} = 0.87\text{ eV}$ ,  $E_{g53} = 0.93\text{ eV}$ ,  $E_{g54} = 0.99\text{ eV}$ と0.06eVずつ大きくなるように形成している。このように障壁層100の厚さとエネルギーバンドギャップを同時に図16のように変化するような構成としている。その他の構成、膜厚は第3実施形態と同一である。

【0073】このような構成においては、第3実施形態と第6実施形態の効果を同時に得ることができるため、その効果を増大させることができる。すなわち、本構成においては価電子帯側のバンドオフセット $\Delta E_v$ が伝導帯側のバンドオフセット $\Delta E_c$ よりも大きい材料で構成されているため価電子帯側のポテンシャル障壁が高く、正孔の方がMQW活性層内に注入されにくい材料構成となっている。したがって、本実施形態ではp型クラッド層37に近い側の障壁層100の膜厚を薄くしかつエネルギーバンドギャップを小さくしているため、正孔をよりn型クラッド層33側へ注入し易くしている。即ち、正孔について隣の井戸層への注入をより効果的に行うようにしている。この結果、第3実施形態及び第6実施形態をそれぞれ単独で実施した場合と比較し、主として活

性層内の正孔のキャリア密度分布の均一性をさらに向上させることができる。これによって、電子-正孔間の再結合速度分布の均一性がさらに向上し、しきい値電流が低く高効率のレーザを得ることができる。

【0074】なお、上記各実施形態ではn型基板上にレーザ構造を積層して形成しているがp型基板上にレーザ構造を形成しても全く同様の効果が得られる。また、上記各実施形態ではn-クラッド層(3)及びn-光ガイド層(4)、p-光ガイド層(6)、p-クラッド層(7)の各層の厚さは共に1 $\mu\text{m}$ としているが、これに限定されるものではなく、1 $\mu\text{m}$ より厚く形成しても、薄く形成してもよく、各層それぞれの厚さは同一でも異なってもよい。さらに、MQW活性層における井戸層一層の厚さは12nmとしているがこれに限定されるものではなく、通常、量子効果が現れる30nm以下が用いられるが、特性及び成膜の均一性を考えると2.5nm~20nmが適当である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1実施形態の半導体レーザの構成を示す断面図。

【図2】 第1実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図3】 第1実施形態の活性層内のキャリア密度分布図。

【図4】 第1実施形態の活性層内でのキャリア再結合速度分布図。

【図5】 第2実施形態の半導体レーザの構成を示す断面図。

【図6】 第2実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図7】 第3実施形態の半導体レーザの構成を示す断面図。

【図8】 第3実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図9】 第4実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図10】 第5実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図11】 第6実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図12】 第7実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図13】 第7実施形態の活性層内のキャリア密度分布図。

【図14】 第7実施形態の活性層内でのキャリア再結合速度分布図。

【図15】 第8実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図16】 第9実施形態の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図。

【図17】 従来の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図 ( $\Delta E_c > \Delta E_v$  の場合)

【図18】 従来の活性層内のキャリア密度分布図 ( $\Delta E_c > \Delta E_v$  の場合)

【図19】 従来の活性層内でのキャリア再結合速度分布図 ( $\Delta E_c > \Delta E_v$  の場合)

【図20】 従来の半導体レーザの活性層付近のエネルギーバンド図 ( $\Delta E_c < \Delta E_v$  の場合)

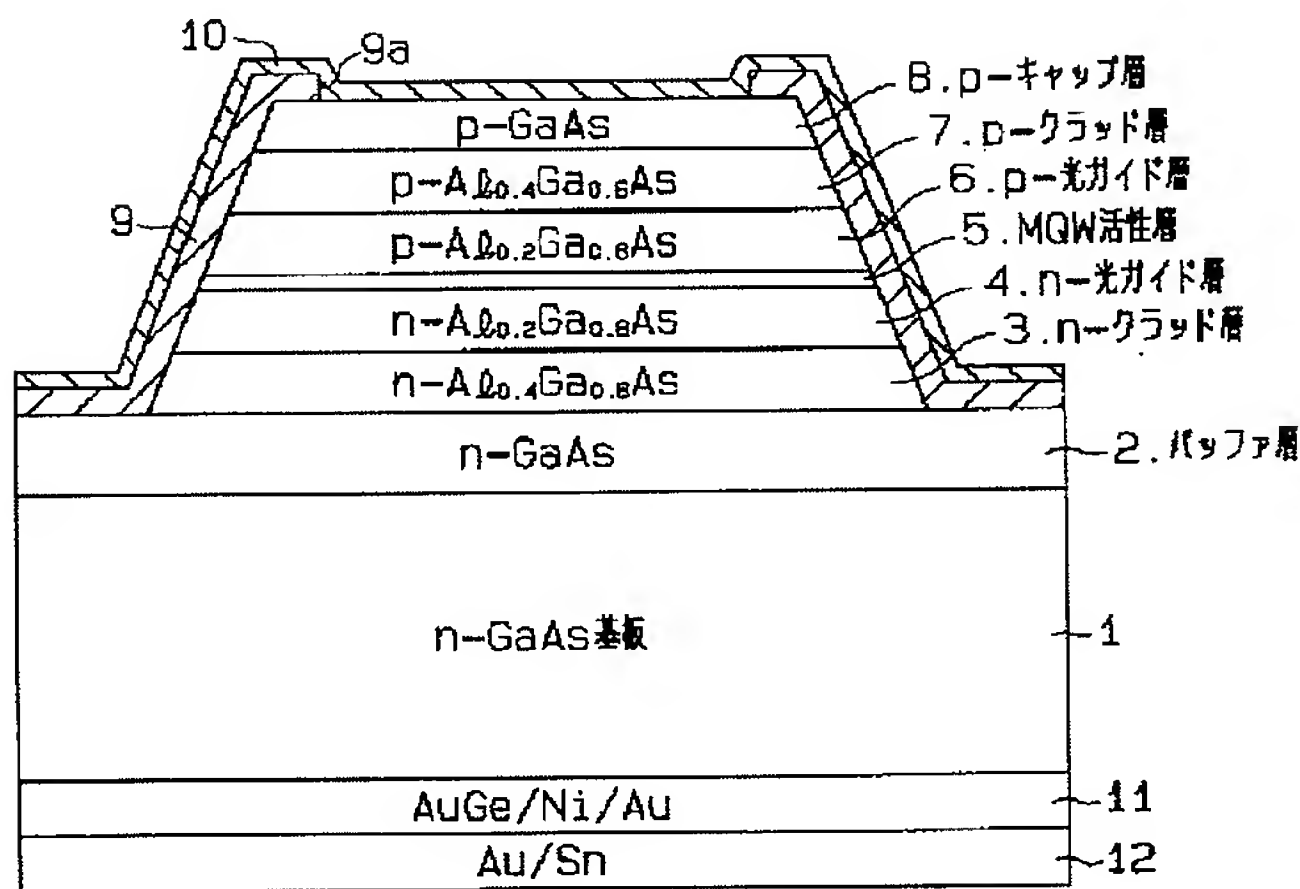
【図21】 従来の活性層内のキャリア密度分布図 ( $\Delta E_c < \Delta E_v$  の場合)

【図22】 従来の活性層内でのキャリア再結合速度分布図 ( $\Delta E_c < \Delta E_v$  の場合)

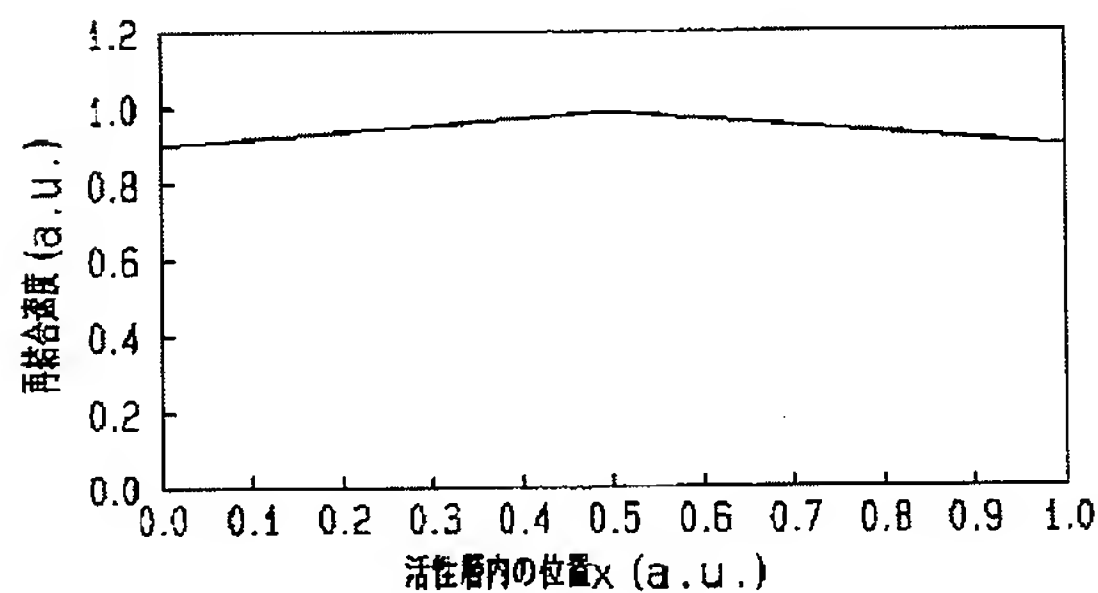
【符号の説明】

1…n-GaAs基板、2…n-GaAsバッファ層、3…n-AlGaAsクラッド層、4…n-AlGaAs光ガイド層、5…MQW活性層 (AlGaAs/GaAs多重量子井戸)、6…p-AlGaAs光ガイド層、7…p-AlGaAsクラッド層、8…p-GaAsキャップ層、9…絶縁膜、10…p型電極 (Cr/Pt/Au)、11…n型電極 (AuGe/Ni/Au)、12…Au/Sn層

【図1】

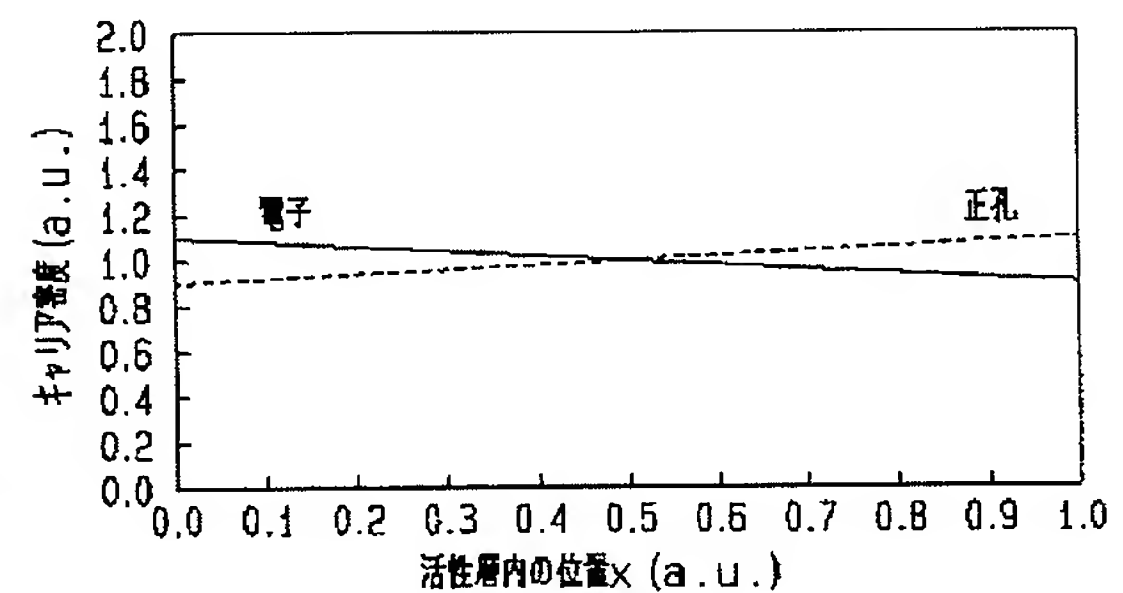


【図4】

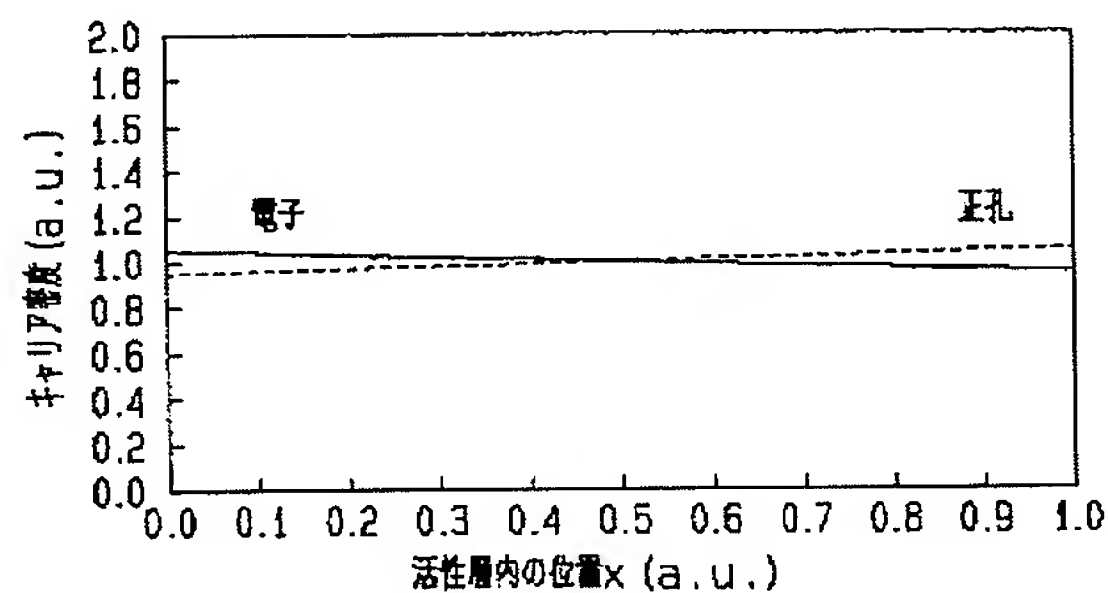


\* s キャップ層、9…絶縁膜、10…p型電極 (Cr/Pt/Au)、11…n型電極 (AuGe/Ni/Au)、12…Au-Sn層、13…井戸層、14…障壁層、21…n-InP基板、22…n-InPバッファ層、23…n-InPクラッド層、24…n-Al<sub>0.23</sub>In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.24</sub>As光ガイド層、25…MQW活性層 (AlInGaAs/AlInGaAs多重量子井戸)、26…p-Al<sub>0.23</sub>In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.24</sub>As光ガイド層、27…p-InPクラッド層、28…p-InGaAsキャップ層、29…井戸層、30…障壁層、31…n-InP基板、32…n-InPバッファ層、33…n-InPクラッド層、34…n-InGaAsP光ガイド層、35…MQW活性層 (InGaAsP/InGaAs多重量子井戸)、36…p-InGaAsP光ガイド層、37…p-InPクラッド層、38…p-InGaAsキャップ層、39…井戸層、40…障壁層、50…障壁層、60…障壁層、70…障壁層、80…障壁層、90…障壁層、100…障壁層。

【図3】



【図13】





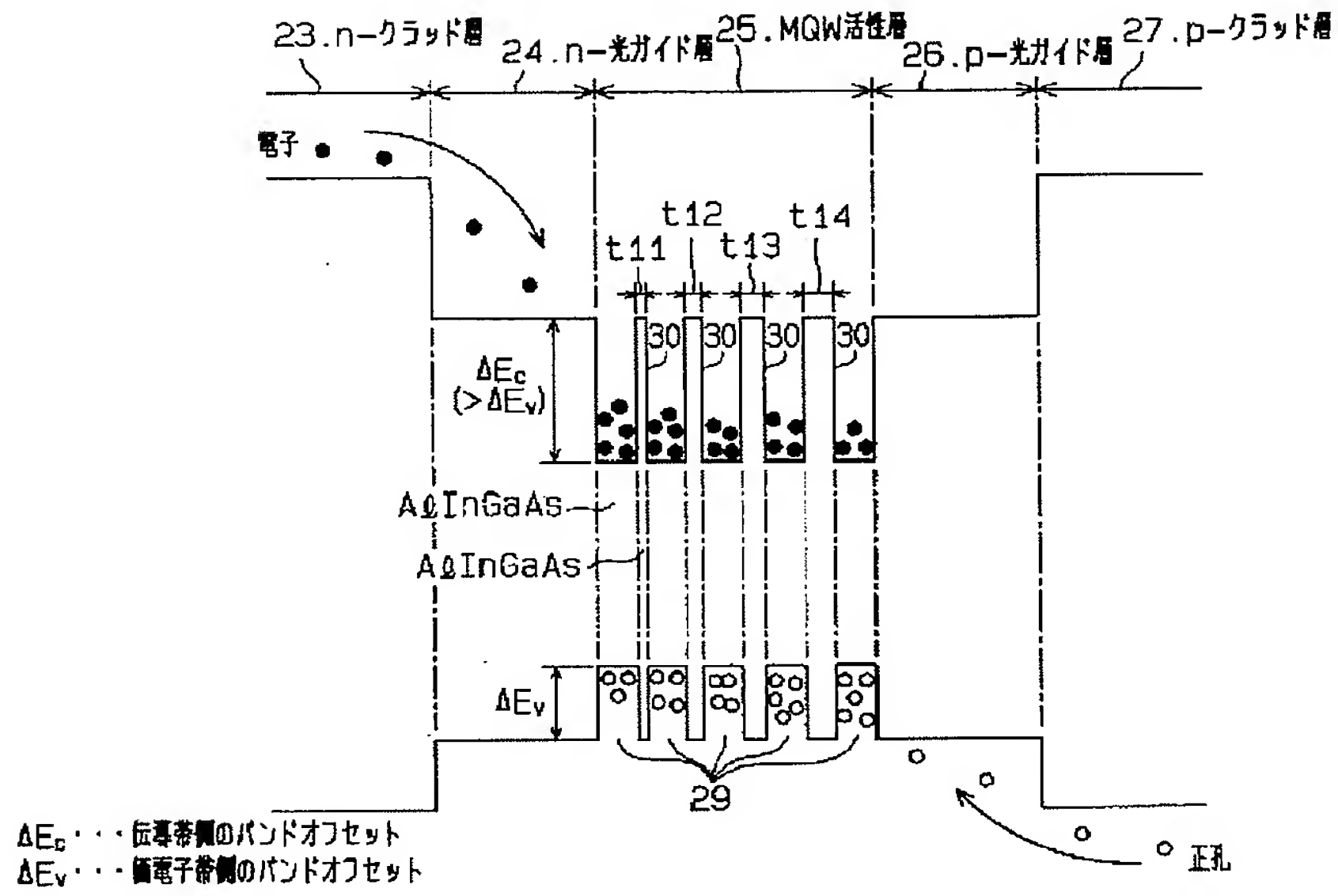
A cross-sectional diagram of a semiconductor device structure. The structure consists of several layers and regions. At the bottom is a substrate labeled 'n-InP基板' (21). Above this is a buffer layer labeled '22. バッファ層'. The top part of the device is a mesa structure. The layers within the mesa, from top to bottom, are: 'p-InGaAs' (28), 'p-InP' (27), 'p-A<sub>0.23</sub>In<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.24</sub>As' (26), 'n-A<sub>0.23</sub>In<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.24</sub>As' (25), 'n-InP' (24), and 'n-InP' (23). The top surface of the mesa is labeled '10'. The side surface of the mesa is labeled '9'. The bottom surface of the mesa is labeled '11'. The bottom surface of the substrate is labeled '12'. The diagram also shows a cross-section of the device with a central region labeled '25. MQW活性層' (MQW active layer) and a surrounding region labeled '24. n-光ガイド層' (n-waveguide layer). The top surface of the mesa is labeled '28. p-キャップ層' (p-capping layer) and the side surface is labeled '27. p-クラッド層' (p-cladding layer). The bottom surface of the mesa is labeled '26. p-光ガイド層' (p-waveguide layer) and the bottom surface of the substrate is labeled '23. n-クラッド層' (n-cladding layer).

Figure 1 is a line graph showing the recombination rate (再結合速度) in arbitrary units (a.u.) as a function of position  $x$  within the active layer (活性層内の位置 $x$ ) in arbitrary units (a.u.). The y-axis ranges from 0.0 to 1.2, and the x-axis ranges from 0.0 to 1.0. The curve is nearly horizontal, starting at approximately 0.95 at  $x=0.0$ , rising slightly to a peak of about 0.98 at  $x=0.5$ , and then slightly decreasing to about 0.95 at  $x=1.0$ .

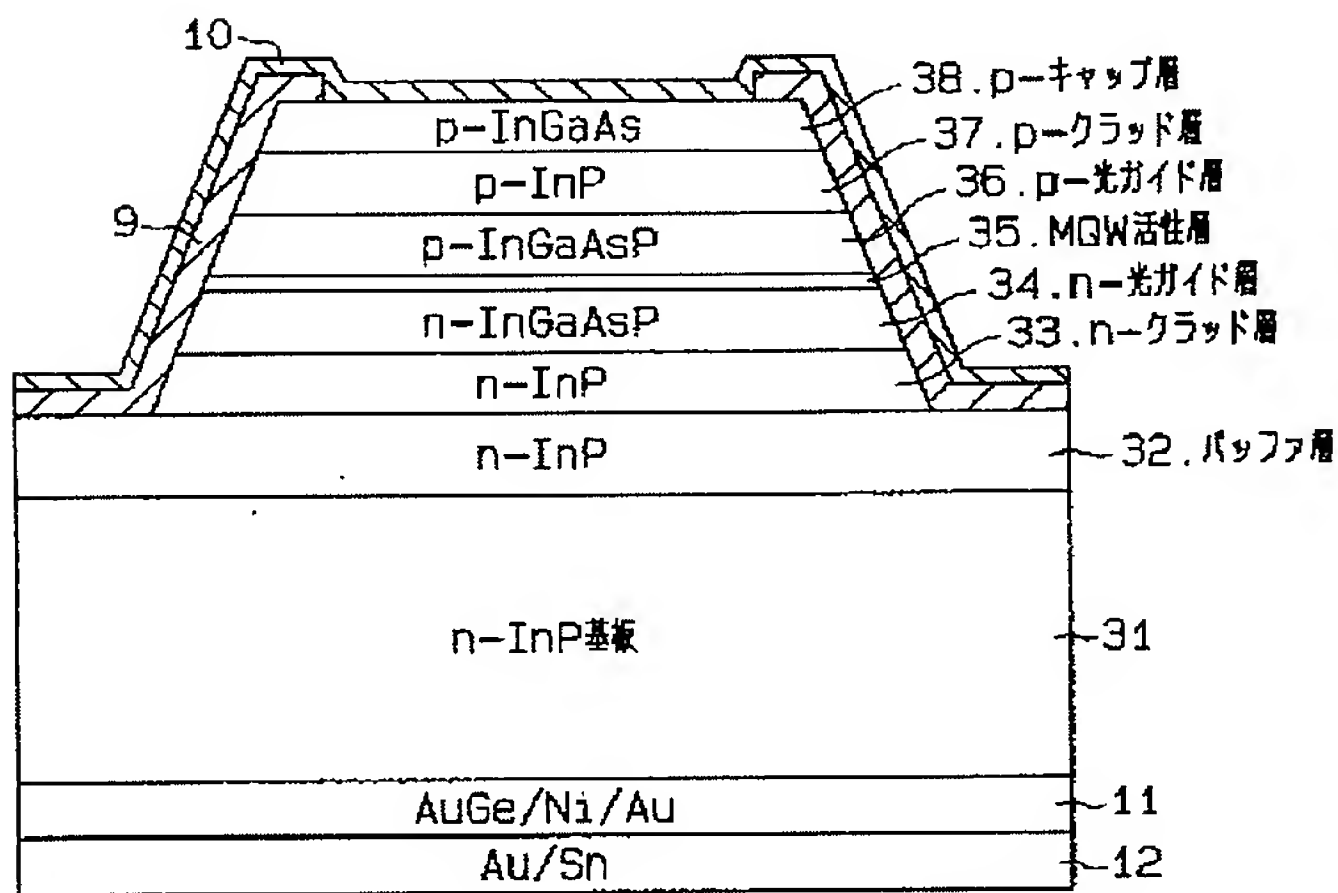
Position $x$ (a.u.)	Electron Density (a.u.)	Hole Density (a.u.)
0.0	1.7	0.9
0.1	1.5	0.95
0.2	1.3	1.0
0.3	1.1	1.05
0.4	0.9	1.1
0.5	0.7	1.15
0.6	0.5	1.2
0.7	0.3	1.25
0.8	0.1	1.3
0.9	0.0	1.35
1.0	0.0	1.4

活性層内の位置 $x$ (a.u.)	再結合速度 (a.u.)
0.0	0.90
0.1	0.92
0.2	0.94
0.3	0.96
0.4	0.98
0.45	0.98
0.5	0.95
0.6	0.85
0.7	0.75
0.8	0.65
0.9	0.58
1.0	0.50

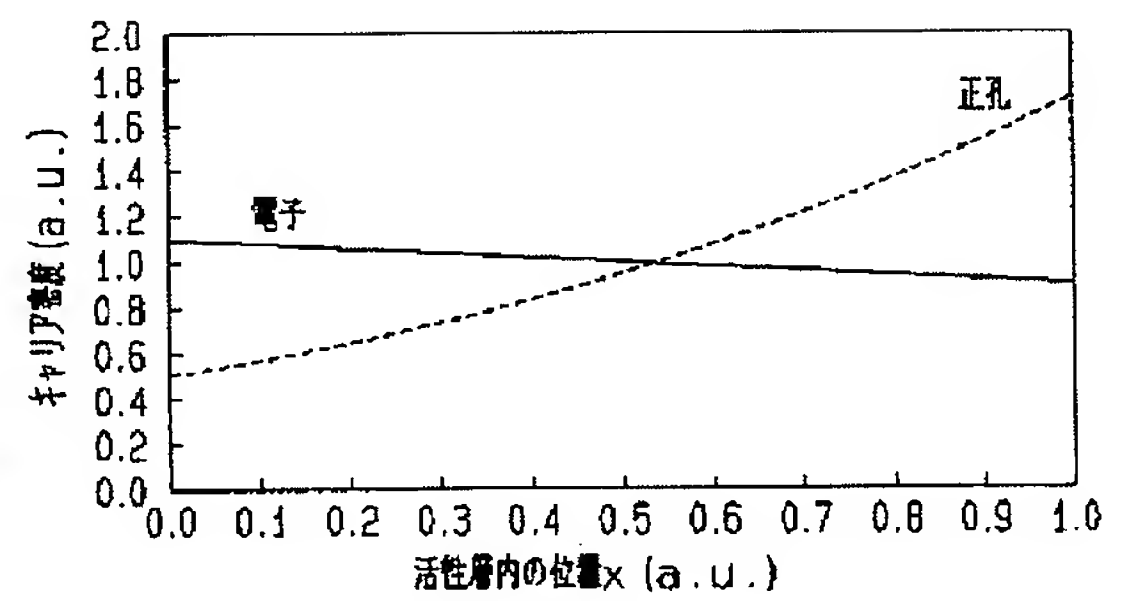
【図6】



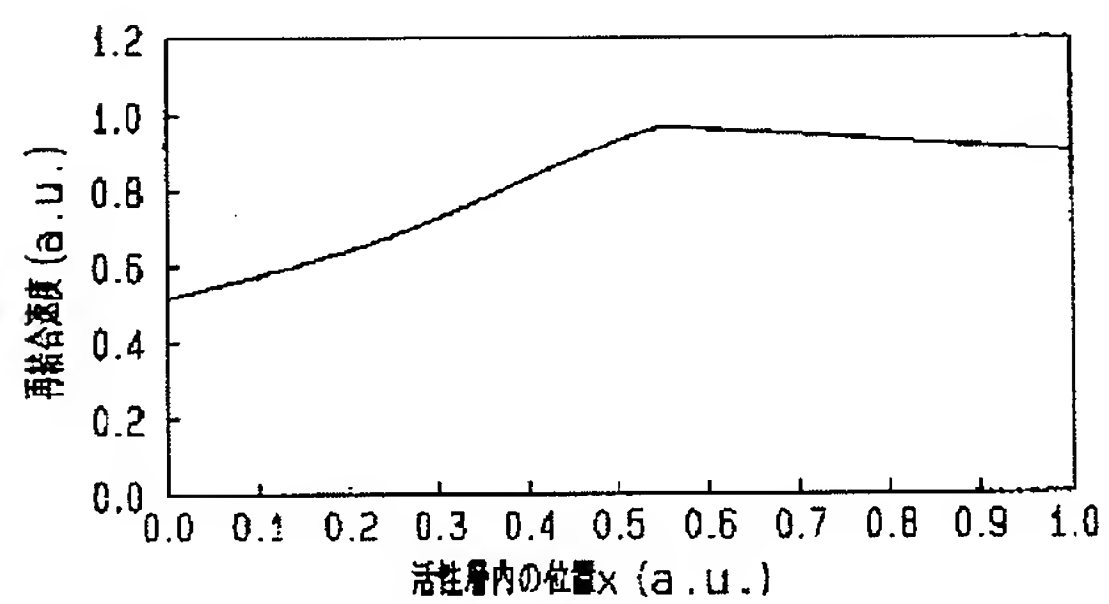
【図7】



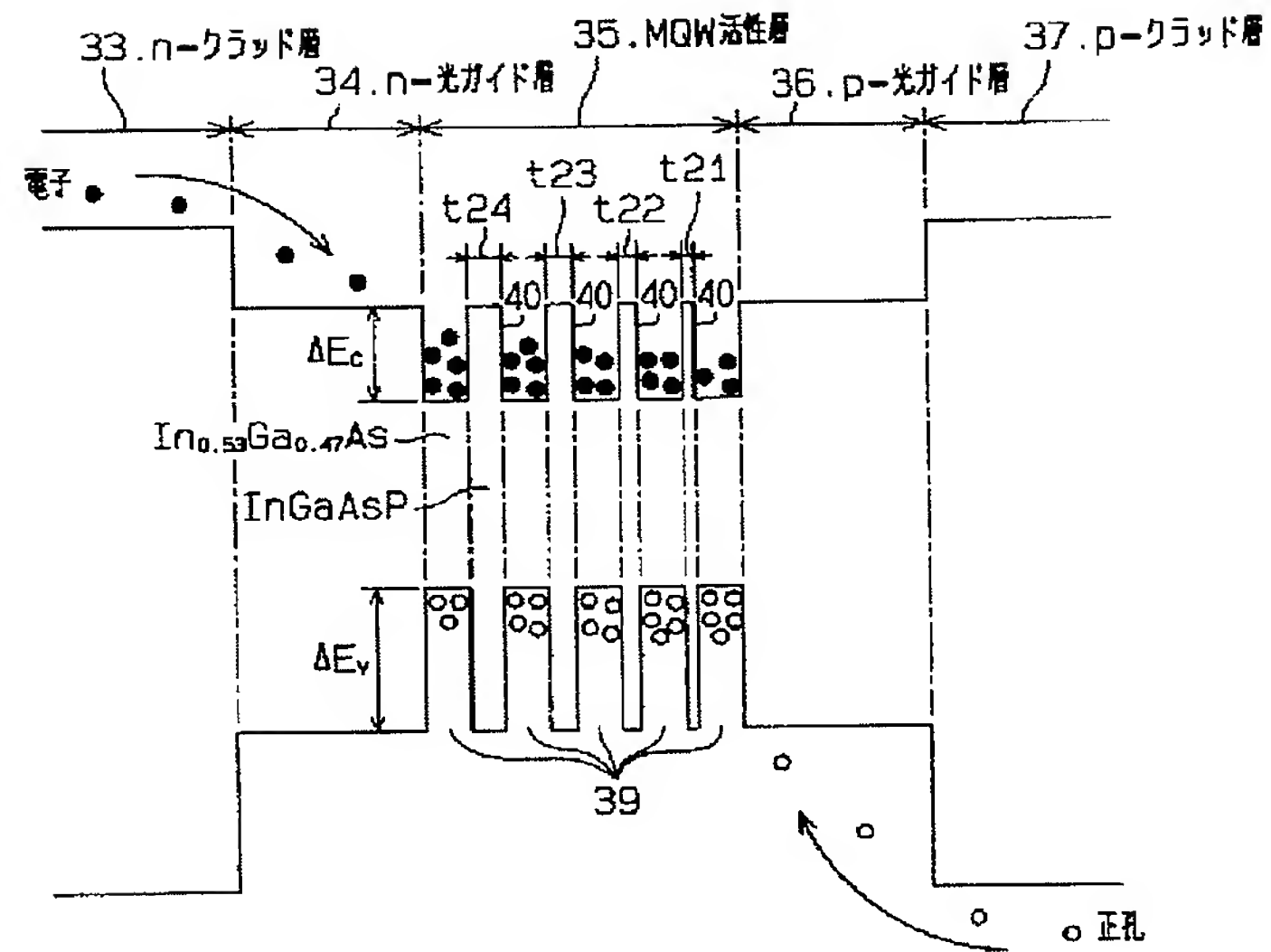
【図21】



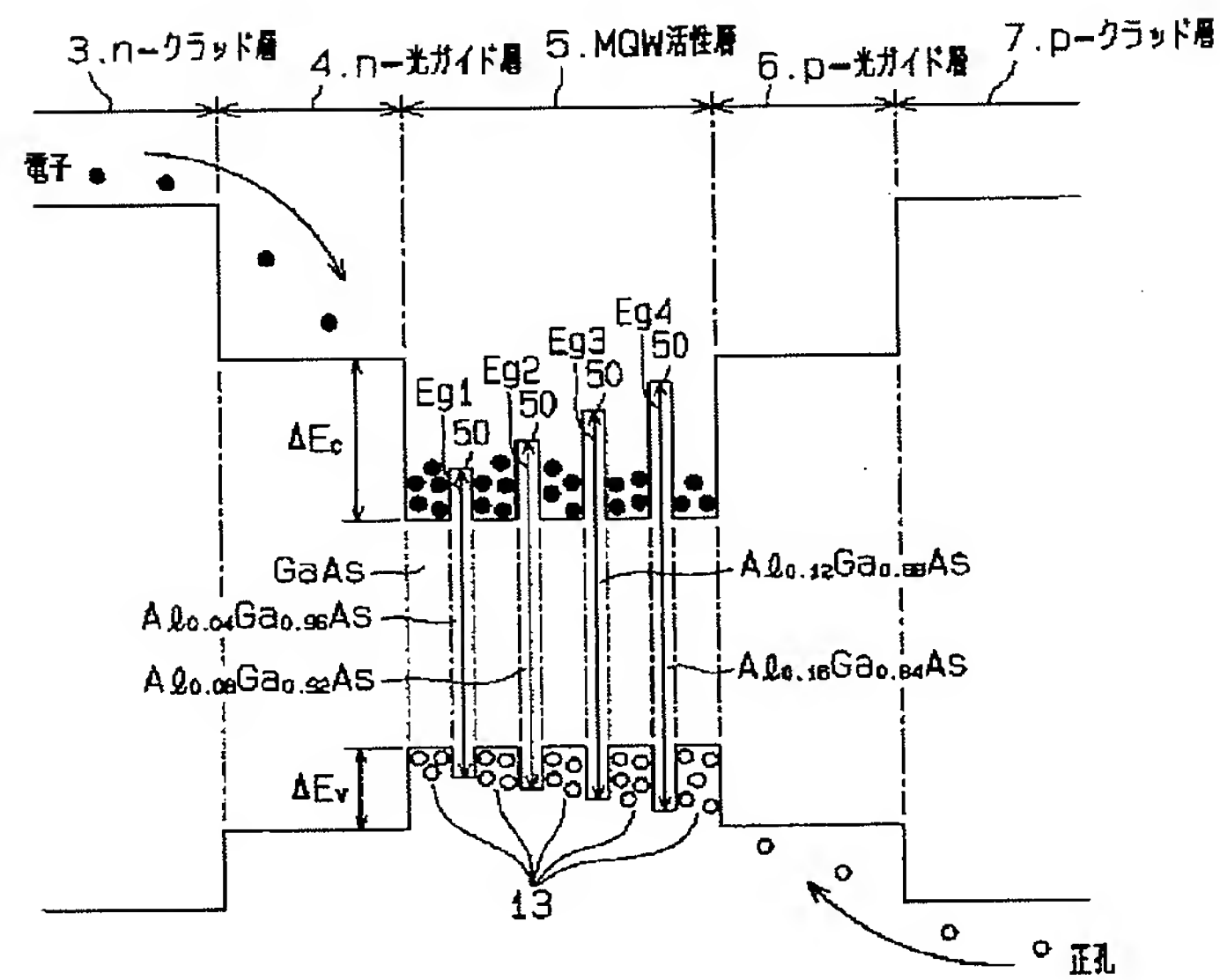
【図22】



【図8】

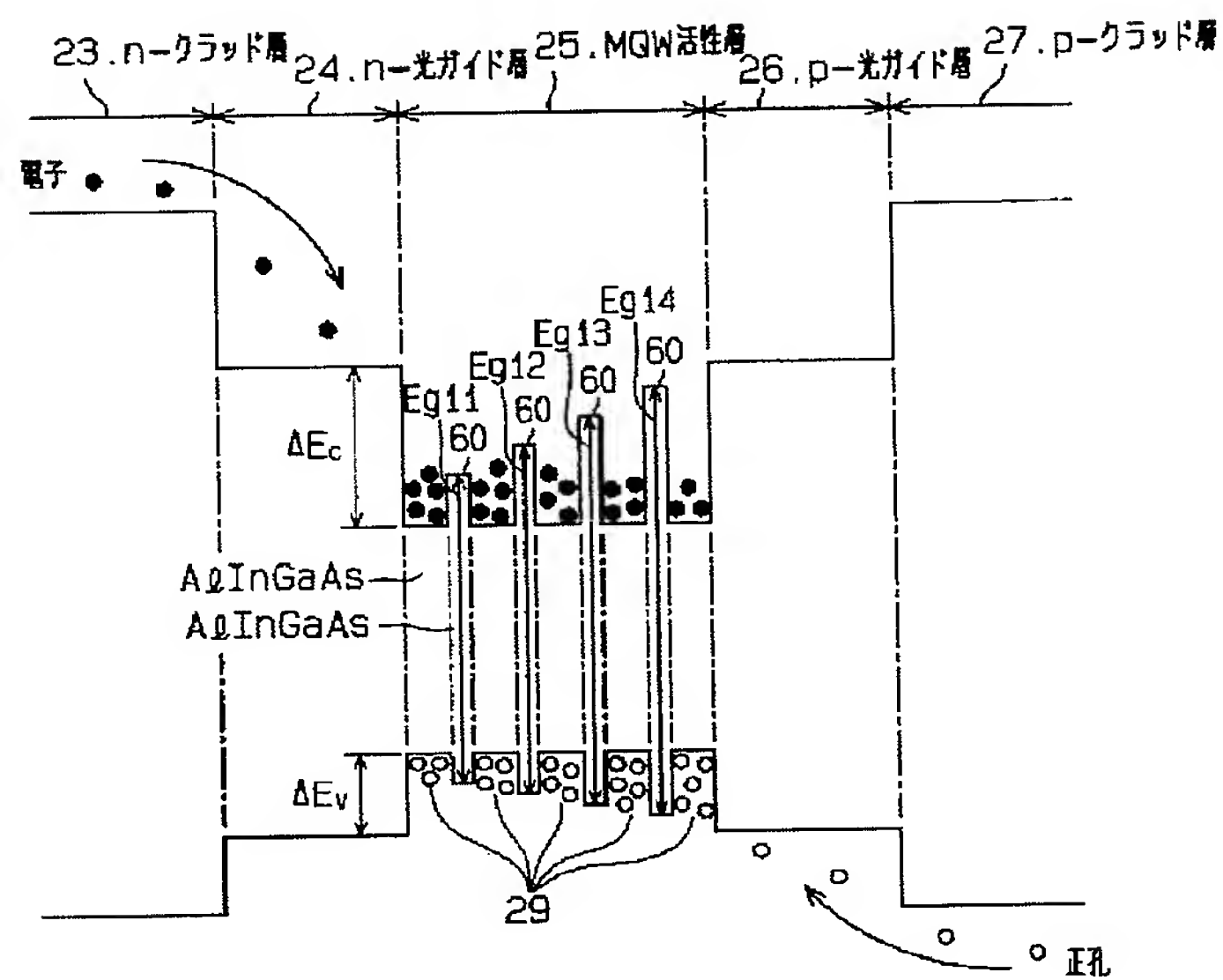


【図9】

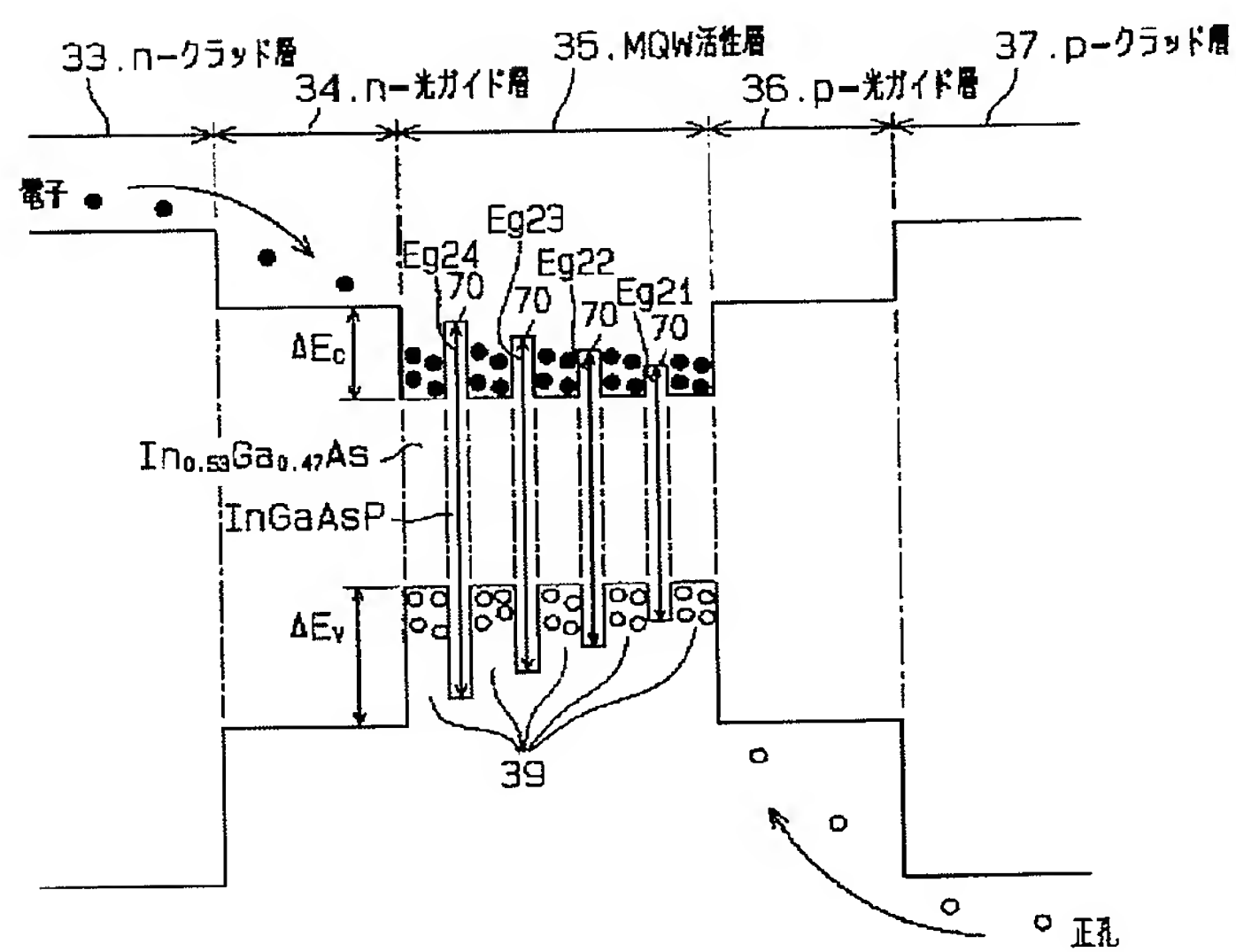




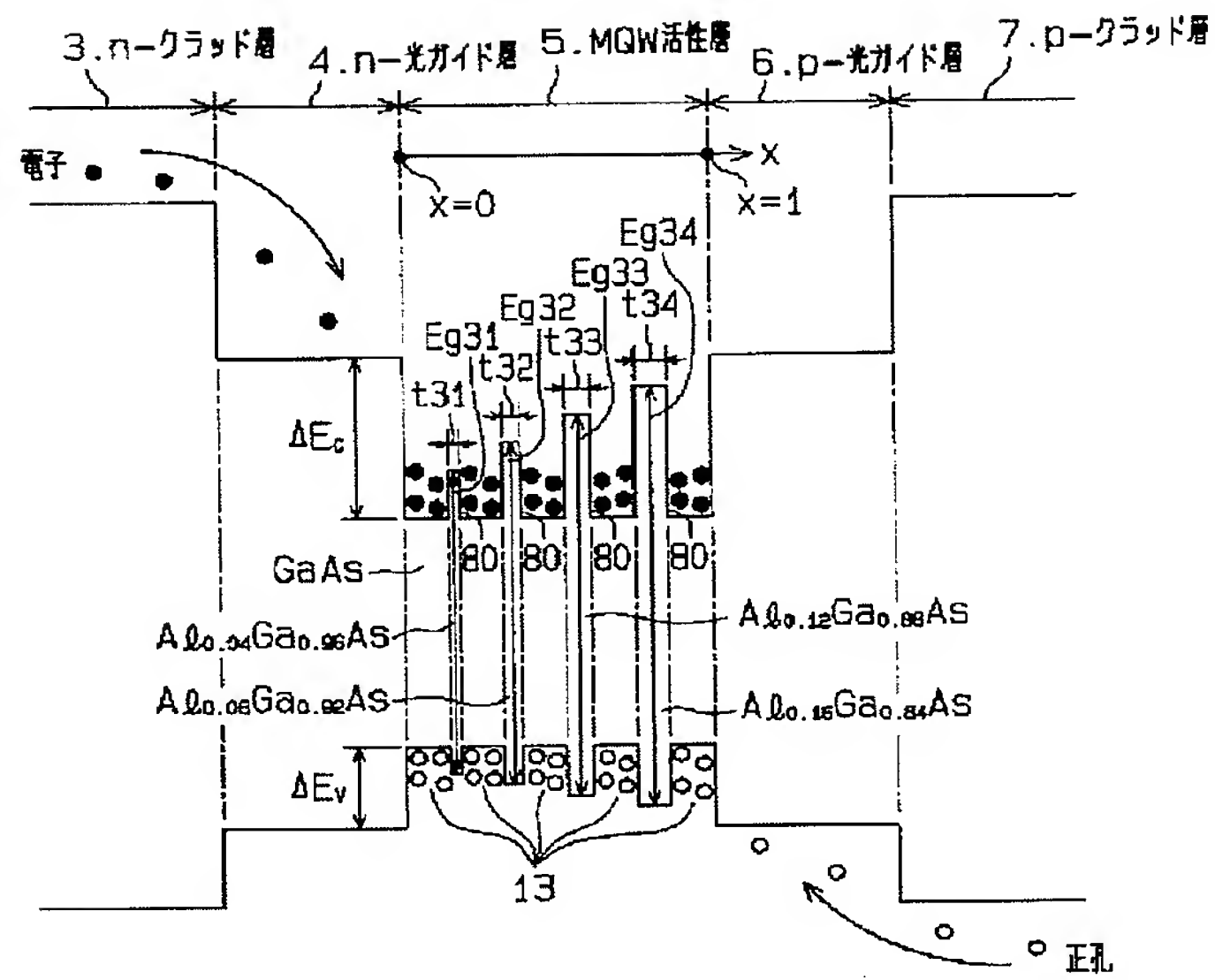
【図10】



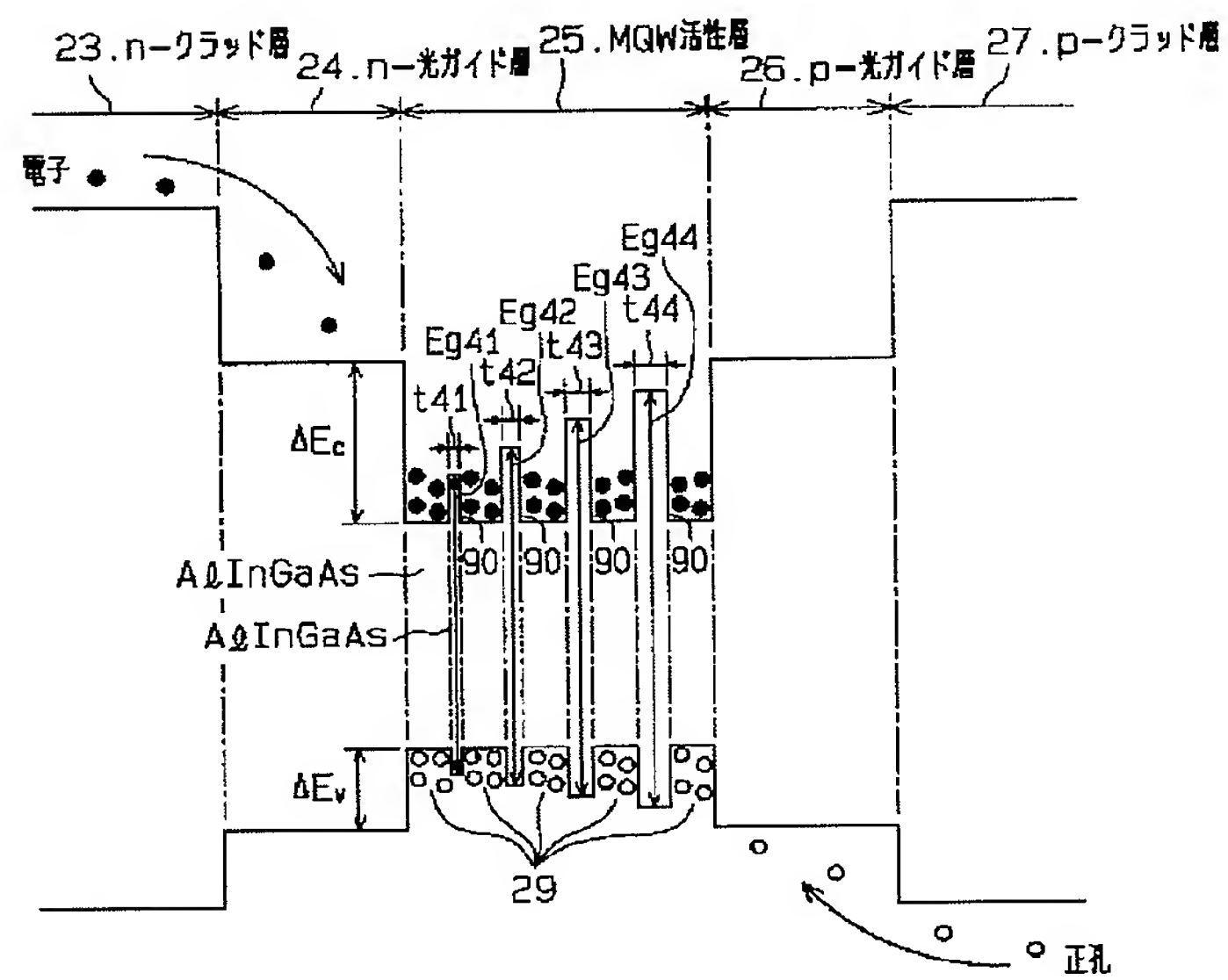
【図11】



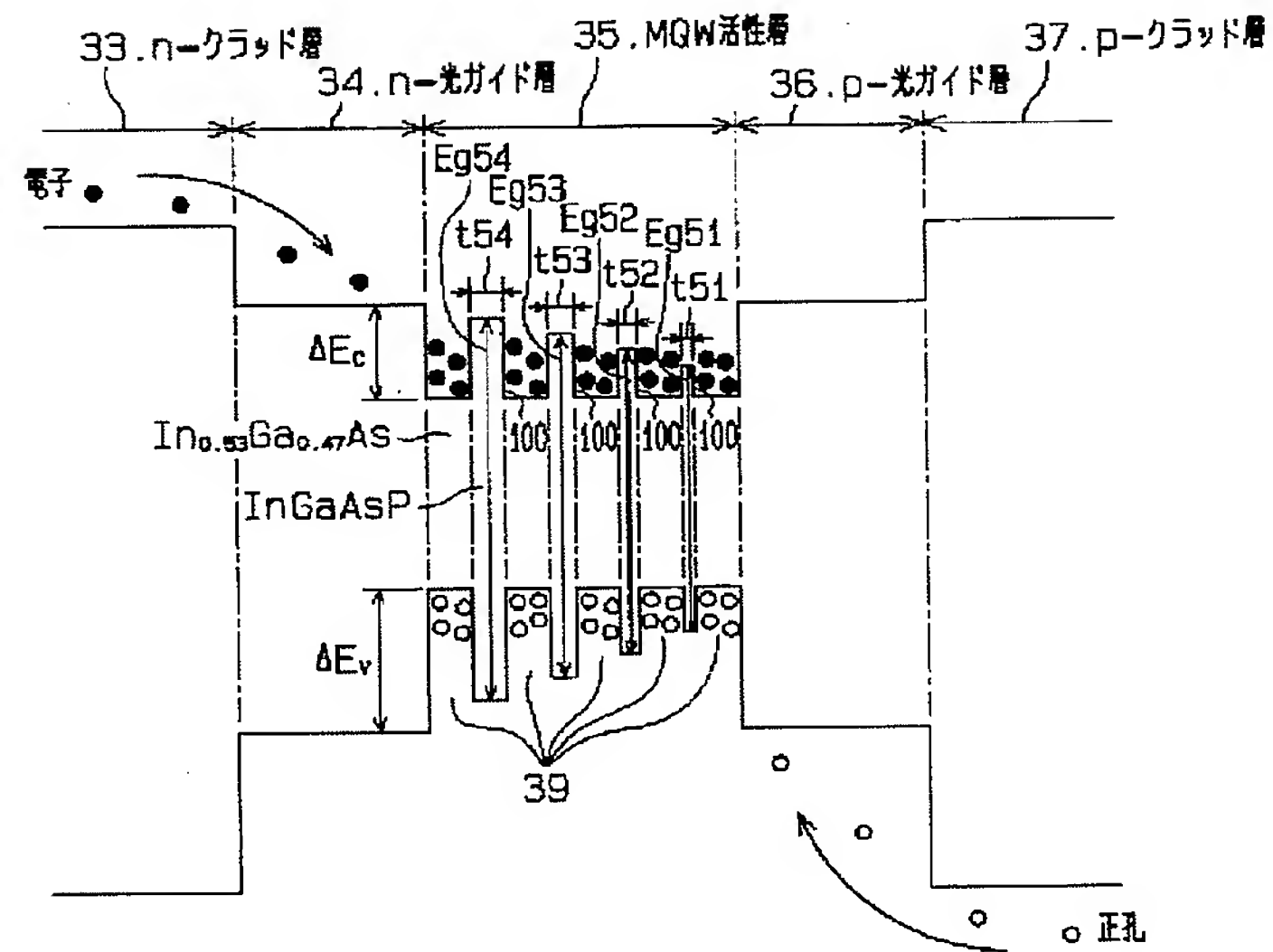
【図12】



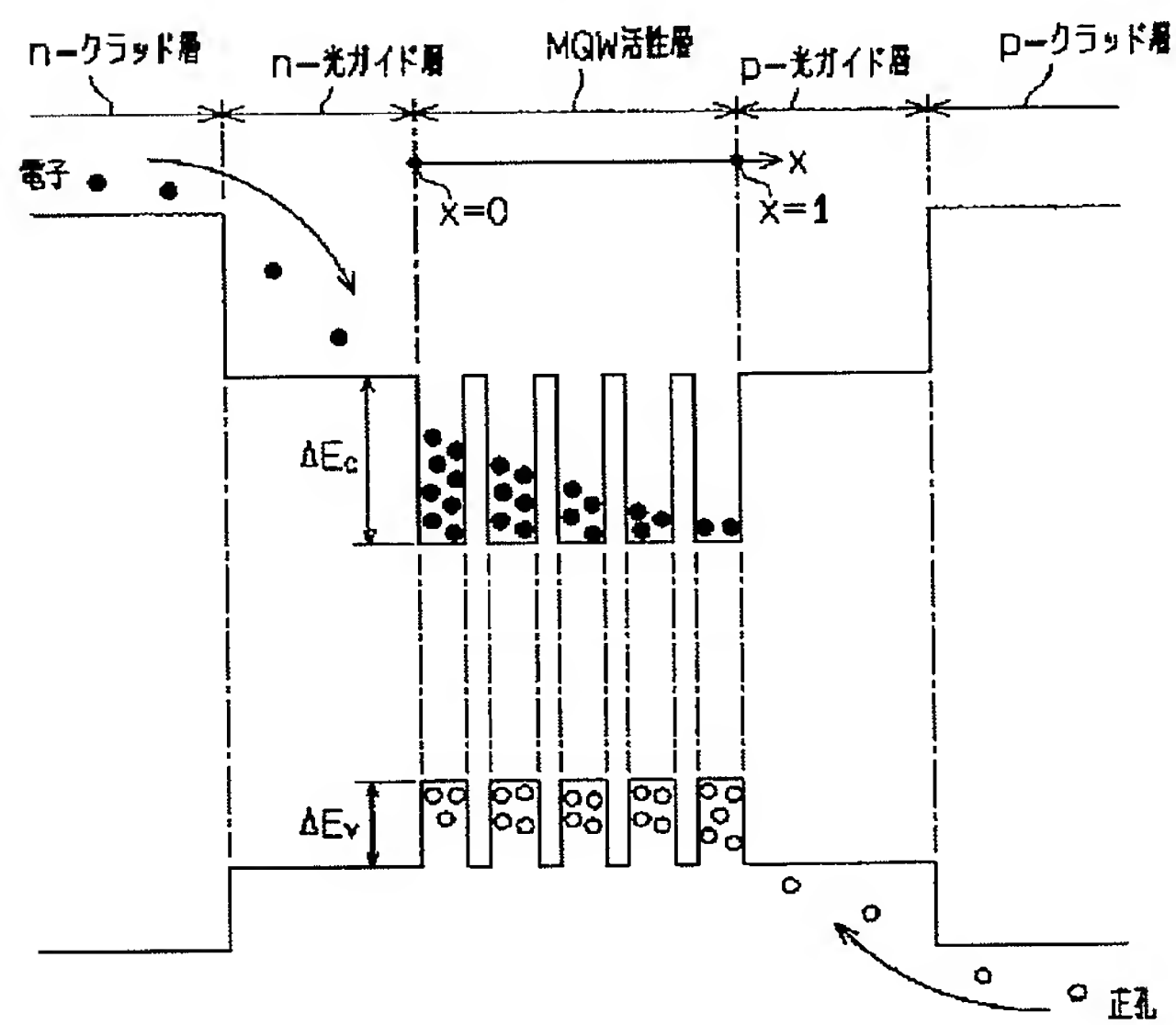
【図15】



【図16】



【図17】





【図20】

